



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA PENGARUH VARIASI ELEVASI MUKA AIR
TERHADAP STABILITAS BATU PELINDUNG
SEAWALL BENTUK BPPT-LOCK**

IYAN ISWARA ASTADIPUTRA
NRP. 4313100001

Dosen Pembimbing

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT- MO 141326

ANALYSIS OF VARIOUS WATER SURFACE INFLUENCE ON BPPT-LOCK TYPE SEAWALL STABILITY

IYAN ISWARA ASTADIPUTRA

NRP. 4313100001

Supervisors :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., MSc.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2017

**ANALISA PENGARUH VARIASI ELEVASI MUKA AIR TERHADAP
STABILITAS BATU PELINDUNG SEAWALL BENTUK BPPT-LOCK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Iyan Iswara Astadiutra

NRP. 4313100001

Disetujui Oleh :

1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc (Pembimbing 2)

3. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Drs. Mahmud Mustain, M. Sc, Ph, D. (Penguji 2)

Surabaya, Juli 2017

ANALISA PENGARUH VARIASI MUKA AIR TERHADAP STABILITAS BATU PELINDUNG *SEAWALL* BENTUK BPT-LOCK

Nama Penulis : Iyan Iswara Astadiputra
NRP : 4313100001
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng, Muhammad Zikra, S.T., M.Sc

Abstrak

Seawall merupakan salah satu bangunan pantai yang sejajar dengan garis pantai. *Seawall* berfungsi untuk mencegah daerah belakang agar tidak tergenang air akibat limpasan dari gelombang yang tinggi. *Seawall* bukan untuk meredam energi gelombang seperti bangunan pantai lainnya, melainkan memantulkan kembali gelombang yang membenturnya kearah laut. Pada penelitian ini dilakukan analisa stabilitas unit lapis pelindung *seawall* dengan menggunakan beton berbentuk BPPT-*Lock*. Pada pengujian ini dilakukan dengan skala model 1:25 dengan empat variasi gelombang (H), dua periode gelombang (T), dan tiga variasi kedalaman muka air. Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah kedalaman relative (D/H_s), angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$), tinggi gelombang (H_s), dan *number of damaged units*. Adapun dari ketiga variasi kedalaman muka air yaitu 0,50m, 0,45m, dan 0,40m yang paling stabil pada kedalaman muka air 0,40m dengan dampak tidak ada kerusakan pada model.

Peningkatan tinggi gelombang (H_s) yang dihasilkan dari variasi elevasi muka air akan menyebabkan kecilnya angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$), sehingga akan mempengaruhi stabilnya batu armor BPPT-*Lock* pada *seawall*. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa Besarnya tinggi gelombang (H_s) akan mempengaruhi besarnya kerusakan yang dialami oleh batu armor BPPT-*Lock*. Pada pengujian di kedalaman $d = 0.45$ m dengan tinggi gelombang $H_s = 0.13$ m, diperoleh *number of damaged units* yaitu 1 unit batu, sedangkan pada pengujian lainnya, *number of damaged units* diperoleh sebanyak 3 unit batu pada ketinggian gelombang yaitu $H_s = 0.17$ m.

Kata kunci : seawall, batu armor BPPT-*Lock*, stabilitas, model fisik

**Analysis of Various Water Surface Influence On
BPPT-Lock Type Seawall Stability**

Name : Iyan Iswara Astadiputra
NRP : 4313100001
Department : Ocean Engineering FTK - ITS
Supervisors : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng, Muhammad Zikra, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Seawall is one of the coastal constructions which position is equal with the coastal line. *Seawall* functions as a protector for the rear area from high runoff wave. *Seawall* does not function to hamper wave energy as the other coastal constructions do, it reflects back the wave into the sea. In this research, an analysis on the stability of the protector layer unit of seawall using concrete type BPPT-Lock. The test was done using the scale model 1:25 with four wave variations (H), two wave periods (T), and three surface depth variations. Parameters used in this research were relative depth (D/H_s), stability number ($H_s/\Delta D_n$), wave height (H_s), and *number of damaged units*. There are three surface depths, they are 0,50 m, 0,45 m, and 0,40 m the most stable being 0,40 m with no casualties on the model.

The increase in wave height (H_s) resulted by variation of surface elevation will cause low stability number ($H_s/\Delta D_n$), which will influence the BPPT-Lock armor rock on the seawall. The result of this research also show that the magnitude of wave height (H_s) will influence the damage scope experienced by BPPT-Lock armor rock. The test on depth $d = 0.45$ m and wave height $H_s = 0.13$ m, resulted in the *number of damaged units* obtained which is 1 rock unit, while on other test, *number of damaged units* obtained are 3 rock unit on the wave height of $H_s = 0.17$ m.

Keywords—*seawall*, BPPT-Lock armor rock, stability, physical model

PENGANTAR

Om swastyastu, puji syukur kehadiran Ida Sang Yhang Widhi Wasa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Elevasi Muka Air Terhadap Stabilitas Batu Pelindung Seawall Bentuk BPPT-*Lock*” dengan lancar.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan penting dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) penulis di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam penerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini penulis tidak memungkiri jika terdapat kekurangan baik yang sengaja maupun tidak disengaja. Maka dari itu penulis mengharapkan adanya saran dan masukan yang membangun untuk Tugas Akhir ini ataupun untuk penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi dibidang teknik kelautan khususnya pada aspek perlindungan pantai.

Surabaya, 8 juni 2017

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis juga tidak lupa menyampaikan rasa terima kasih yang begitu mendalam kepada pihak-pihak yang tak kenal lelah mendukung penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini serta atas semua hal yang diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua saya, yang selalu mendukung dan menjadi semangat serta motivasi saya. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.
2. Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang dengan komitmen tinggi dan kesabaran membimbing dan memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing kedua yang dengan komitmen tinggi dan kesabaran membimbing dan memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D, selaku kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut atas perhatian dan dukungannya selama melakukan penelitian Tugas Akhir yang saya lakukan.
5. Bapak M. Mochtar Arif dan bapak Aris Resdiantoro selaku teknisi Laboratorium Lingkungan dan Energi laut serta Laboratorium Pantai dan Lingkungan Laut atas dukungannya baik secara materi maupun moral kepada penulis selama melakukan penelitian Tugas Akhir ini,
6. Teman-teman seperjuangan (*Seawall Grup*) Ali, Vega, Rindi, Dani, Rorry, Awang yang banyak membantu dalam experiment maupun penulisan Tugas Akhir.
7. Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Kelautan atas keramahannya dan bantuannya selama penulis mengurus Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman “Penghibur Lara” Anak Agung Dewi Yudanthi, Prima, Bani, Fikri, Jofir, Tio, Tito, Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS yang telah menjadi penyemangat saat mengerjakan Tugas Akhir.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori.....	5
2.2.1 Seawall.....	5
2.2.2 Tanggul Laut	6
2.2.3 Pelindung Kaki (<i>Toe Protection</i>)	6
2.2.4 Gelombang	7
2.2.5 Gelombang Acak.....	8
2.2.6 Spektrum Energi.....	9
2.2.7 Spektra Gelombang.....	12

2.2.8 Pemodelan Fisik	13
2.2.9 Keserupaan Geometrik.....	13
2.2.10 Analisa Dimensi	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1. Diagram <i>Fishbone</i>	17
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	18
3.3. Metode Penelitian	19
3.4. Prosedur Penelitian	20
3.4.1 Studi Literatur	20
3.4.2 Persiapan percobaan	20
3.4.3 Skala Panjang	24
3.4.4 Pembuatan Model	24
3.4.5 Desain Pengujian Model.....	25
3.4.6 Kalibrasi Alat.....	25
3.4.7 Pengujian Model.....	26
3.4.8 Analisa dan Pembahasan	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Pendahuluan.....	29
4.2. Analisa Data	30
4.2.1. Kalibrasi <i>Wave Probe</i>	30
4.2.2. Pengolahan Data Hasil Eksperimen	31
4.3. Pengamatan Pengujian Secara Visual.....	35
4.3.1. Pengamatan Visual Dengan Variasi Muka Air 0,5m	39
4.3.2. Pengamatan Visual Dengan Variasi Muka Air 0,45m	43
4.3.3. Pengamatan Visual Dengan Variasi Muka Air 0,40m	46
4.4. Pengaruh Angka Stabilitas Terhadap Kedalaman Air Relatif (d/H)	48
4.5. Pengaruh <i>Number of damaged units</i> Terhadap Tinggi Gelombang (H_s)	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gelombang acak merupakan superposisi gelombang reguler dalam jumlah (Pierson, et al, 1953).....	9
Gambar 2.2	Ilustrasi Fast Fourier Transform (Journey, J.M.J and Pinkster)	9
Gambar 3.1	Diagram Ikan Pengerjaan Tugas Akhir	17
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	18
Gambar 3.4.1	Penampang Samping Model Struktur <i>Seawall</i> dengan skala 1:25	20
Gambar 3.4.2	Model BPPT- <i>Lock</i> (Sumber: Zuhdan, dkk. 2012).....	21
Gambar 3.4.3	<i>Flume Tank</i> (Wirayuhanto, 2017)	22
Gambar 3.4.4	Penampang melintang model <i>seawall</i>	25
Gambar 3.4.5	Peletakan Armor BPPT- <i>Lock</i>	26
Gambar 3.4.6	Contoh Grafik Hubungan angka stabilitas dengan <i>wave steffness</i> (Sumber : Bakker <i>et al.</i> 2005)	27
Gambar 4.1	Hasil kalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak AnaWare..	31
Gambar 4.2	Tampilan excel macro refana untuk mengambil nilai tegangan dari <i>time history</i>	32
Gambar 4.3	Penempatan Hasil Output Refana Dalam Satu Folder	33
Gambar 4.4	Tampilan AnaWare	34
Gambar 4.5	Keadaan Model Sebelum Terkena Gelombang Uji.....	36
Gambar 4.6	Keadaan Model Setelah Terkena Gelombang Uji	37
Gambar 4.7	Kemiringan 1:2 variasi elevasi muka 0,5m	39
Gambar 4.8	Kemiringan 1:2 variasi elevasi muka air 0,45m	43
Gambar 4.9	Kemiringan 1:2 variasi elevasi muka air 0,40m	46
Gambar 4.10	Hubungan angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$) terhadap kedalaman air relatif (d/H).....	49
Gambar 4.11	Hubungan angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$) terhadap kedalaman air relatif (d/H) untuk variasi kedalaman (a) $d=0,5m$, (b) $d=0,45m$ dan (c) $d=0,40m$	50

Gambar 4.12 Hubungan antara <i>Number Of Damaged Units</i> Terhadap Tinggi Gelombang (H_s)	51
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.4.1	Variasi tinggi gelombang dan periode gelombang serta variasi muka air struktur armor unit batu pelindung BPPT- <i>Lock</i>	23
Tabel 3.4.2	Skala Model Dari <i>Prototype</i>	24
Tabel 4.1	Data Dari <i>Probe</i> 1 dan <i>Probe</i> 2	30
Tabel 4.2	Rekaman Data <i>Probe</i> 1 dan <i>Probe</i> 2	31
Tabel 4.3	Hasil Nilai Olahan AnaWare	35
Tabel 4.4	Hasil Pengamatan Visual Respon Model Uji	37
Tabel 4.5	Jumlah Batu BPPT- <i>Lock</i> yang digunakan Pada Variasi Elevasi Muka Air 0.5m.....	39
Tabel 4.6	Pengamatan Perpindahan Batuan.....	40
Tabel 4.7	Pengamatan Perpindahan Batuan.....	41
Tabel 4.8	Pengamatan Perpindahan Batuan.....	42
Tabel 4.9	Jumlah Batu BPPT- <i>Lock</i> yang digunakan Pada Variasi Elevasi Muka Air 0.45m.....	43
Tabel 4.10	Pengamatan Perpindahan Batuan.....	44
Tabel 4.11	Pengamatan Perpindahan Batuan.....	45
Tabel 4.12	Pengamatan Perpindahan Batuan.....	46
Tabel 4.13	Jumlah Batu BPPT- <i>Lock</i> yang digunakan Pada Variasi Elevasi Muka Air 0.40m.....	47

DAFTAR NOTASI

A	=	Amplitudo gelombang
A_p	=	Luas permukaan objek per satuan panjang
C	=	Kecepatan rambat gelombang
C_D	=	Koefisien seret
C_I	=	Koefisien inersia
C_L	=	Koefisien angkat
H	=	Tinggi gelombang
Lo	=	Panjang gelombang
T	=	Periode gelombang
F_B	=	Gaya apung
F_D	=	Gaya seret
F_I	=	Gaya inersia
F_L	=	Gaya angkat
F_p	=	Gaya tekanan
F_R	=	Gaya penahan
Fr	=	Bilangan Froude
\bar{H}	=	Tinggi gelombang rerata
H_i	=	Tinggi gelombang datang
H_s	=	Tinggi gelombang signifikan
H_m	=	Tinggi model
H_p	=	Tinggi prototipe
Ir	=	Bilangan Iribaren

K_D	=	Koefisien stabilitas
K_m	=	Massa jenis yang dipengaruhi penampang bentuk objek
L	=	Panjang spesifik
L_m	=	Panjang model
L_p	=	Panjang prototipe
M	=	Massa
MWL	=	Mean Water Level
N	=	Gaya normal
n_L	=	Skala panjang
n_H	=	Skala tinggi
\bar{T}	=	Periode gelombang rerata
V	=	Volume
V_m	=	Volume model
W_a	=	Berat armor
W_D	=	Berat kering objek
W_r	=	Berat model
W_s	=	berat terceleup objek
a	=	Percepatan
d	=	Kedalaman air
f	=	Frekuensi
g	=	Percepatan gravitasi
k	=	Angka gelombang
m	=	Model

n	=	Jumlah gelombang
p	=	Prototipe
u	=	Kecepatan horizontal partikel air
w	=	Kecepatan vertikal partikel air
ρ_w	=	Massa jenis air laut
γ_r	=	Berat jenis model
γ_a	=	Berat jenis air
μ	=	Koefisien gesek statis
Θ	=	Sudut kemiringan struktur
Δ	=	Berat jenis relative $((\gamma_r - \gamma_a) - 1)$

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Proses pembuatan model *seawall*
- Lampiran B Peralatan laboratorium
- Lampiran C Pengolahan data
- Lampiran D Pengamatan visual BPPT-*Lock*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pantai adalah wilayah yang harus dilindungi keindahan alamnya dengan mempertahankan tempat wisata yang ada dipinggir pantainya. Saat ini banyak yang di lakukan untuk mengelola pesisir yang sering digunakan sebagai pelabuhan, pemukiman, industry, maupun objek wisata. Oleh karna itu wilayah pesisir harus diberi pelindung dari serangan gelombang supaya tidak terjadi abrasi. Ada berbagai macam jenis perlindungan pantai misalnya breakwater, groin, seawall, dan jetty. Masalah yang sering timbul pada daerah pesisir adalah abrasi, erosi dan juga sedimentasi. Untuk melindungi daerah pesisir dari masalah yang di timbulkan terutama abrasi, erosi dan juga terjangan langsung ooleh gelombang laut dibutuhkan sebuah bangunan yaitu seawall. Seawall berfungsi sebagai pelindung atau penahan terhadap kekuatan gelombang yang langsung menerjang wilayah pesisir yang dapat mengakibatkan kerusakan atau pengikisan pantai oleh gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak yang sering disebut abrasi.

Seawall juga dapat dikatakan sebagai dinding banjir yang berfungsi sebagai pelindung atau penahan terhadap kekuatan gelombang. Seawall pada umumnya dibuat dari konstruksi padat seperti beton, turap baja atau kayu, pasangan batu atau pipa beton sehingga seawall tidak meredam energy gelombang, tetapi gelombang yang memukul permukaan seawall akan terpantul kembali dan menyebabkan gerusan pada bagian tumitnya. (Triadmojo, 1999).

Armor unit (*toe protection*) yang digunakan adalah tipe batu BPPT-*Lock*. Pada daerah-daerah pesisir pantai yang gelombang dan arus lautnya bersifat merusak. seawall dengan armor unit sejatinya tersusun atas tumpukan batu pecah (*rubblemound*) yang menjadi pondasi dan pelindung kaki (*toe protection*). Namun karena batu yang digunakan kurang efektif dalam hal stabilitas maka tumpukan batu tersebut diganti dengan tumpukan batu BPPT-*Lock* yang lebih stabil dan kuat.

Besarnya gelombang yang datang dapat mempengaruhi stabilitas dari BPPT-*Lock* yang digunakan sebagai armor dari seawall. Karakteristik dari gelombang seperti tinggi gelombang, periode gelombang, dan lain-lain. Dan untuk teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang jonswap.

Penelitian ini akan menganalisa tentang stabilitas armor unit BPPT-*Lock* pada seawall dengan tinggi gelombang yang bervariasi. Dari hasil tersebut nantinya penelitian ini dapat diketahui stabilitas armor unit BPPT-*Lock* dengan pengaruh elevasi muka air dan berapa besar gelombang yang dapat teredam. Untuk mengetahui efektifitas batu armor unit BPPT-*Lock* pada seawall dalam meredam gelombang, maka harus diketahui tinggi signifikan (H_s), periode (T) gelombang pada kondisi harian (normal), badai/ekstrim dan pasang surut (LWL, MSL, HWL), yakni perbandingan antara tinggi gelombang dan karakteristik gelombang yang diterima oleh tanggul dengan tinggi gelombang yang sudah menenai kontruksi armor unit BPPT-*Lock* dari tanggul kurang dari 0.5 atau dengan kata lain semakin kecil koefisien transmisi maka efisiensi pecahnya gelombang semakin besar (Tazaki and Ishida, 1975).

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang ingin dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi elevasi muka air terhadap stabilitas armor unit BPPT-*Lock* pada *seawall*?
2. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang terhadap stabilitas armor unit BPPT-*Lock* pada *seawall*?

1.3. Tujuan

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi elevasi muka air terhadap stabilitas armor unit BPPT-*Lock* pada *seawall*
2. Untuk memenuhi pengaruh tinggi gelombang terhadap stabilitas armor unit BPPT-*Lock* pada *seawall*

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memperbanyak informasi ilmiah untuk digunakan sebagai panduan teknis tambahan dalam pemilihan bentuk dan susunan *armor unit* atau *toe protection*

1.5. Batasan Masalah

Dengan pertimbangan fasilitas yang ada, batasan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Arah sudut datang gelombang tegak lurus terhadap model.
2. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang irreguler dengan spektrum gelombang Jonswap.
3. Dasar perairan tidak rata dan kedap.
4. Variasi tinggi gelombang dan periode gelombang ditentukan.
5. Gaya oleh angin diabaikan
6. Stabilitas model diamati

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang mengapa dilakukannya penelitian ini. Terdapat juga rumusan masalah, tujuan dan manfaat agar penelitian ini lebih terarah, serta batasan masalah agar pembahasan tidak meluas.

Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Pada bab ini terdapat tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian, bisa juga untuk membandingkan hasil penelitian. Selain itu terdapat dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan analisa dan pembahasan.

Bab III. Metodologi

Pada bab ini akan dijelaskan secara umum dan detail langkah-langkah dalam melakukan penelitian. Terdapat juga diagram alir untuk mempermudah membaca langkah-langkah yang diberikan dalam melakukan penelitian.

Bab IV. Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini dijelaskan analisa yang dilakukan terhadap data yang diperoleh dan pembahasannya yang berpedoman pada dasar teori. Sehingga hasil dari penelitian akan menjawab dari rumusan masalah.

Bab V. Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi tentang rangkuman hasil atau jawaban dari rumusan masalah dan saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dinding pantai atau revetment adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai yang terutama berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (overtopping) kedarat. (Happy Mulia, 2007)

penggunaan seawall dimaksudkan untuk memperkuat tepi pantai agar tidak terjadi pengikisan akibat gempuran gelombang. Tetapi bila dinding penahan tidak direncanakan dengan baik bangunan tersebut dapat cepat rusak terutama kerusakan pada bagian kaki. Karena dibuat berbagai macam pelindung kaki (*toe protection*) untuk melindungi kaki dari ancaman tersebut.

Pada umumnya langkah-langkah yang direncanakan untuk memberikan stabilitas terhadap pantai dibedakan kedalam dua kelas (CERC, SPM, Vol 1, 1984). Yang pertama adalah struktur yang dipergunakan untuk menjaga agar gelombang yang besar tidak menjangkau kawasan pantai dermaga ataupun pelabuhan. Contoh struktur ini adalah *breakwater*, *seawall*, *bulkheads* dan *revetment*. Yang kedua struktur buatan yang digunakan untuk mengurangi laju sedimen transport sepanjang pantai, baik yang sejajar dengan garis pantai maupun pada arah yang tegak lurus garis pantai. Contoh dari struktur ini adalah *seawall* dan *jetties*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Seawall

Tembok laut (*sea wall*) merupakan struktur yang dibangun di pantai dan dalam arah sejajar pantai dengan fungsi utama mencegah atau mengurangi limpasan dan penggenangan areal pantai di belakangnya dari penggenangan yang disebabkan oleh gelombang atau air pasang. Tembok pantai dibangun dalam arah sejajar pantai sebagai perkuatan sebagian profil pantai. Biasanya tembok pantai digunakan untuk melindungi tempat pejalan kaki, jalan raya, dan perumahan yang

terletak di tepi pantai. Konstruksi tembok pantai sangat bervariasi mulai dari struktur dinding vertikal seperti dinding beton, *sheetpile* beton hingga struktur berdinding miring dengan permukaan slab beton bertulang, unit armor beton atau timbunan batu.

2.2.2 Tanggul Laut

Tanggul laut (*sea dike*) merupakan struktur yang dibangun di pantai dan dalam arah sejajar pantai dengan fungsi utama melindungi dataran pantai rendah dari penggenangan yang disebabkan oleh air pasang, gelombang dan badai. Tanggul laut biasanya dibangun sebagai timbunan dari material kedap air seperti lempung dengan kemiringan lereng menghadap laut cukup landai dengan tujuan mengurangi rayapan gelombang dan pengaruh gerusan akibat gelombang. Sebagai perkuatan, permukaan lereng tanggul diindungi dengan gebalan rumput, aspal, batu, slab atau blok-blok beton.

2.2.3 Pelindung Kaki (Toe Protection)

Pelindung kaki ini digunakan untuk melindungi tembok laut dari masalah stabilitas yang mungkin terjadi pada tembok laut. Seperti misalnya apabila terjadi gerusan yang dapat disebabkan karena adanya arus horizontal ataupun pusaran di depan dinding pemecah gelombang. Dengan adanya gerusan di depan bangunan ini konstruksi menjadi tidak stabil dan dapat runtuh.

Tebal batu pelindung dan berat batu lapis pelindung yang digunakan kira-kira setengah dari yang digunakan pada dinding tembok laut (Yuwono, 1992). Berat butir batu untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan dihitung dengan persamaan :

$$W = \frac{y_r H^3}{N_s y_a (S_r - 1)}$$

Dengan,

W = berat rerata butir batu (ton)

y_r = Berat jenis batu (ton/m³)

S_r = Perbandingan berat jenis batu dan berat jenis air laut = γ_r / γ_a

y_a = Berat jenis air laut (1,025-1,03 ton/m³)

N_s = Angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan

2.2.4 Gelombang

Macam-macam gelombang dibedakan menjadi beberapa macam, tergantung pada gaya yang membangkitkannya. Angin, gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa bumi (tsunami) adalah beberapa contoh aktivitas alam yang dapat membangkitkan gelombang. Selain akibat adanya aktivitas alam, gelombang juga dapat dibangkitkan karena adanya benda yang bergerak misalnya kapal dan lain sebagainya. Akan tetapi dari beberapa macam gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan pasang surut. Energi yang dihasilkan gelombang dapat membentuk pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Triatmodjo, 1999).

Djarmiko (2012), dalam bukunya menjelaskan terdapat 2 teori gelombang yang saat ini dipakai untuk berbagai analisis bangunan laut yaitu teori gelombang reguler dan teori gelombang acak.

1. Teori gelombang reguler

Gelombang sebagaimana halnya dengan fluida dinamis yang lain dapat dipandang sebagai aliran fluida cair yang mempunyai pola khas yang dapat diformulasikan secara matematis dengan mempertimbangkan kaidah-kaidah dan hukum-hukum tertentu. Perumusan yang paling sederhana dari gelombang laut adalah dalam bentuk osilasi sinusoidal seperti diperkenalkan Airy. Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang adalah relatif kecil bila memberikan komponen kecepatan pada arah tersebut.

2. Teori Gelombang Acak

Gelombang yang terjadi di laut sebagian besar disebabkan oleh angin. Bila dikaji lebih mendalam, gelombang tersebut terbentuk oleh mekanisme adanya tekanan atau *frictional drag* antara angin dan permukaan laut yang diikuti perpindahan energi dari angin ke air laut. Partikel-partikel air akan digerakkan dari posisi awalnya oleh angin dalam orbit berupa lingkaran.

Parameter penting untuk menjelaskan gelombang air adalah panjang gelombang, tinggi gelombang, dan kedalaman air. Parameter-parameter yang lain seperti kecepatan dan percepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok di atas (Pratikto, Armono, dan Suntoyo, 1996). Dimana :

Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara puncak tertinggi dan puncak terendah pada puncak dan lembah gelombang.

Periode Gelombang (T) adalah waktu yang dibutuhkan oleh dua puncak/lembah gelombang yang berurutan melewati titik tertentu.

Kecepatan rambat gelombang (Celerity) (C) merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (L/T). Ketika gelombang air menjalar dengan kecepatan C, partikel air tidak turut bergerak ke arah perambatan gelombang.

Amplitudo (a) adalah jarak antara puncak/titik tertinggi gelombang atau lembah/titik terendah gelombang dengan muka air tenang (H/2) (Pratikto, Armono, dan Suntoyo, 1996).

2.2.5 Gelombang Acak

Gelombang yang terjadi di laut sebagian besar disebabkan oleh angin. Bila dikaji lebih mendalam, gelombang tersebut terbentuk oleh mekanisme adanya tekanan atau *frictional drag* antara angin dan permukaan laut yang diikuti perpindahan energi dari angin ke air laut. Partikel-partikel air akan digerakkan dari posisi awalnya oleh angin dalam orbit berupa lingkaran. Akan tetapi, karena tingkat ketidakaturan (random) di laut sangat tinggi, maka metode statistik harus digunakan dalam perhitungan (Dean dan Dalrymple, 1984).

Gelombang *irregular* tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya (Bhattacharyya, 1972).

$$E_T = \sum E_i$$

Atau dalam bentuk lain :

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \sum \xi a_i$$

Dengan :

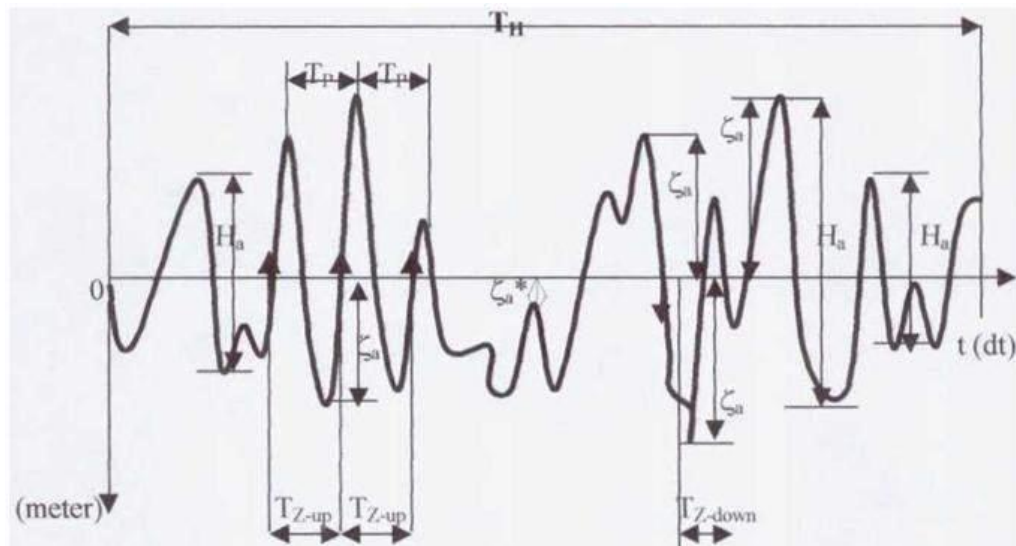
E_T = energi total (joule/m)

E_i = energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)

ρ = densitas air laut (kg/m^3)

g = percepatan grafitasi (m/s^2)

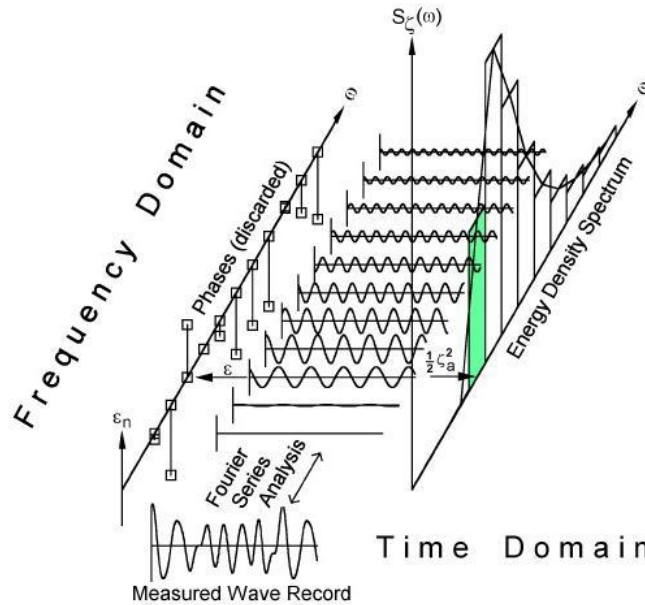
ξa_i = amplitudo gelombang (m)



Gambar 2.1. Gelombang acak merupakan superposisi gelombang reguler dalam jumlah (Pierson, et al, 1953)

2.2.6 Spektrum Energi

Pada pencatatan elevasi tinggi muka air gelombang biasa ditampilkan dalam bentuk *time domain*. Karena ditampilkan dalam *time domain* data gelombang yang sulit dibaca, maka dari itu diubah dalam bentuk *frekuensi domain*. Dari pengolahan *data time domain* menjadi *frekuensi domain* dapat dilakukan dengan menggunakan *fast fourier transform*.



Gambar 2.2 . Ilustrasi Fast Fourier Transform (Journee, J.M.J and Pinkster, J, 2002)

Dalam analisa spectrum energy gelombang di perlukan data pencatatan gelombang selama 15-20 menit. Prinsip analisa spectrum gelombang adalah menguraikan suatu gelombang *irregular* menjadi susunan dari gelombang teratur dari berbagai frekuensi dan tinggi gelombang (Nuryuwono, 2009). Untuk perhitungan momen spektra menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S_{\zeta}(\omega) d\omega$$

Varian elevasi permukaan gelombang setara dengan luas area di bawah kurva spektrum gelombang, yang juga merupakan varian dari riwayat waktu gelombang.

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega$$

Periode rata-rata dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\bar{T} = 2\pi \frac{m_0}{m_1}$$

Periode awal (T_0) adalah periode gelombang pada saat energi gelombang maksimum terjadi. Untuk mendefinisikan spektrum dengan model matematika

maka bisa ditemukan dengan diferensiasi. Sehingga dapat ditunjukkan periode rata-rata dari puncak gelombang (T_p), ditulis dengan persamaan :

$$\bar{T}_p = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}}$$

Dengan *mean zero crossing period* (T_z) :

$$\bar{T}_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$$

Untuk tinggi gelombang signifikan (H_s) tergantung pada jumlah bandwidth spektrum. Secara umum, spektrum gelombang laut memiliki band yang relatif sempit, sehingga tinggi gelombang signifikan dapat diperoleh dari persamaan :

$$H_s = 4\sqrt{m_0}$$

$$\bar{H} = 2,5\sqrt{m_0}$$

$$H_{1/10} = 1,27 H_s$$

$$H_{rms} = 0,556 H_s$$

$$H_{max} = 1,77 H_s = 0,707 \ln(N)$$

Dengan N adalah jumlah gelombang. Frekuensi rata-rata yang merupakan pusat spektra dan tinggi muka air *Root Mean Square* dapat diperoleh dengan :

$$\varpi = \omega_m = \frac{m_1}{m_0} \text{ rad/s}$$

$$\eta_{RMS} = \sqrt{m_0}$$

Rahman (1995), dalam perubahan grafik time domain ke frekuensi domain digunakan beberapa spektrum gelombang, spektrum parameter tunggal yang paling sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz (PM) 1964 (Chakrabarti) yang berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan atau kecepatan angin. Selain itu ada beberapa spektrum parameter ganda yang bisa digunakan, beberapa yang sering digunakan adalah *Bretschneider* (1969), International Ship and Offshore Structures Congress (ISSC, 1964), International Towing Tank Conference (ITTC, 1966, 1969, dan 1972) Join North Sea Wave Project (JONSWAP, 1973, dan 1976).

Spektra JONSWAP dikemukakan oleh Hasselmann, dkk (1973) berdasarkan percobaan yang dilakukan di North Sea. Persamaan untuk spektrum JONSWAP, yaitu :

$$S(f) = \alpha \frac{H_s^2}{C_p^2 f^5} \exp \left[-\frac{5}{4} (T_p f)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[\frac{-(T_p f - 1)^2}{2 \sigma^2} \right]}$$

Dengan :

$$\alpha = 0,0624 \left(0,23 + 0,336 \gamma - \frac{0,185}{1,9 \gamma} \right)$$

$$f_p = \frac{1}{T_p} \text{ dan } \sigma = \begin{cases} 0,07 & f \leq f_p \\ 0,09 & f > f_p \end{cases}$$

γ = peak edness parameter

σ = shape parameter

2.2.7 Spektra gelombang

Sifat gelombang di laut adalah tidak beraturan baik arah maupun besarnya terutama saat terhempas angin. Kerena sifat inilah besarnya energi gelombang acak sulit untuk di ukur. Gelombang acak merupakan gabungan dari gelombang-gelombang sinusoidal dengan panjang dan periode gelombang yang bervariasi.

Jika didefinisikan luasan yang dibatasi oleh suatu batasan frekwensi tertentu adalah proporsional dengan energi total (permeter persegi) dari semua komponen gelombang dari batasan frekwensi tersebut, maka luasan total yang dibatasi oleh spektra adalah proporsional dengan energi total per meter persegi dari keseluruhan sistim gelombang. Pada gelombang acak tentunya tidak dapat dikenali suatu patron yang spesifik. Denagn demikian maka parameter gelombang akan lebih tepat bila didefisnikan denagn memakai besaran-besaran statistik, yaitu seperti :

$H_{1/3}$ = harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan tinggi gelombang tertinggi atau tinggi gelombang signifikan

$T_{1/3}$ = harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan periode gelombang tertinggi atau periode signifikan

Spektra parameter tunggal yang sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz (P-M, 1964), yang berdasarkan pada parameter kecepatan angin. Selain itu terdapat beberapa spektra parameter ganda yang biasa digunakan seperti Bretschneider (1969), International Ship Structure Congress (1964), International Towing Tank Conference (1966, 1969, 1972) serta spektra gelombang Joint North Sea Wave Project atau lebih dikenal dengan istilah JONSWAP. Spektra ini diturunkan untuk kondisi perairan laut utara dan akan lebih sesuai apabila diterapkan untuk perairan tertutup atau di daerah kepulauan (Hasselmen, 1973). Pada penelitian ini akan menggunakan spektra JONSWAP.

2.2.8 Pemodelan fisik

Pemodelan fisik adalah model yang akan diuji harus disesuaikan dengan *prototype*-nya, sehingga perilaku model akan mirip dengan perilaku *prototype*-nya. Meskipun dalam aplikasi di laboratorium tidak sama persis dengan kondisi di lapangan namun diusahakan dengan memperhatikan efek penyekalaan dan meminimalisir efek laboratorium. Keserupaan antara *prototype* dengan model fisik dapat diperoleh jika semua faktor yang mempengaruhi reaksi, berada pada porsi yang sesuai antara kondisi sebenarnya dengan model. Untuk model pant, tiga kondisi umum dibawah ini harus dipenuhi untuk memperoleh kesamaan model (model *similitude*) (Hughes, Cohen, dan Acuff, 2008)

2.2.9 Keserupaan Geometrik

Dalam pelaksanaannya keserupaan geometrik dibatasi untuk hidrodinamika gelombang panjang (*long waves*) dan *unidirectional flows* (Hughes, Cohen, dan Acuff, 2008). Keserupaan geometrik dapat dipenuhi apabila rasio semua dimensi linier dari model dan *prototype* sama. Hubungan ini hanya menunjukkan keserupaan dalam bentuk tidak dalam hal gerak (motion) (Warnock 1950). Model serupa geometrik disebut juga *geometrically undistorted model*, karena memiliki skala yang sama baik vertikal ataupun horizontal.

Hubungan ini hanya menunjukkan keserupaan dalam bentuk, tidak dalam hal gerak (motion) (Warnock, 1950). Skala panjang model dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{l_m}{l_p} = \frac{b_m}{b_p} = \frac{d_m}{d_p} = \frac{h_m}{h_p}$$

dengan:

l_m = panjang model (m)

l_p = panjang prototipe (m)

b_m = lebar model (m)

b_p = lebar prototipe (m)

d_m = tinggi model (m)

d_p = tinggi prototipe (m)

h_m = kedalaman air pada model (m)

h_p = kedalaman air pada prototipe (m)

2.2.10 Analisa Dimensi

Penelitian ini menganalisa dimensi sangat dibutuhkan dimana setiap detail bahan dari model harus sama, sehingga ketika model dirangkai tidak terjadi perubahan bentuk atau ukuran. Persamaan dikatakan berdimensi homogen jika dimensi setiap suku dari suatu persamaan adalah identik/sama. Setiap persamaan secara fisik diawali dari fenomena analisa keserupaan, seperti persamaan dari suatu sistim satuan (Armono,2005).

Teori dasar dari analisis dimensi adalah menyatakan variabel fisik yang ada menjadi variabel tak berdimensi dengan jumlah variabel yang lebih sedikit. Analisis ini menjadi alat yang sangat berguna dalam percobaan terutama dalam hidromekanika. Dengan menggunakan analisis dimensi dapat mengurangi kerumitan akibat jumlah variabel eksperimen kemudian menyederhanakannya menjadi variabel tak berdimensi.

Langkah-langkah proses analisis dimensi sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi variabel independen yang penting
2. Membuat matriks dimensi
3. Menentukan jumlah dan bentuk parameter-parameter π yang terbentuk.
4. Buat sistem persamaan dimensi dalam suku-suku berpangkat k_1, k_2, \dots, k_3 .
5. Formulasi parameter-parameter π
6. Verifikasi setiap parameter

Manfaat dari analisis dimensi antara lain:

1. Mengurangi jumlah variabel yang diselidiki
2. Menghasilkan grafik non-dimensional yang berlaku umum
3. Mudah digunakan dalam model skala.

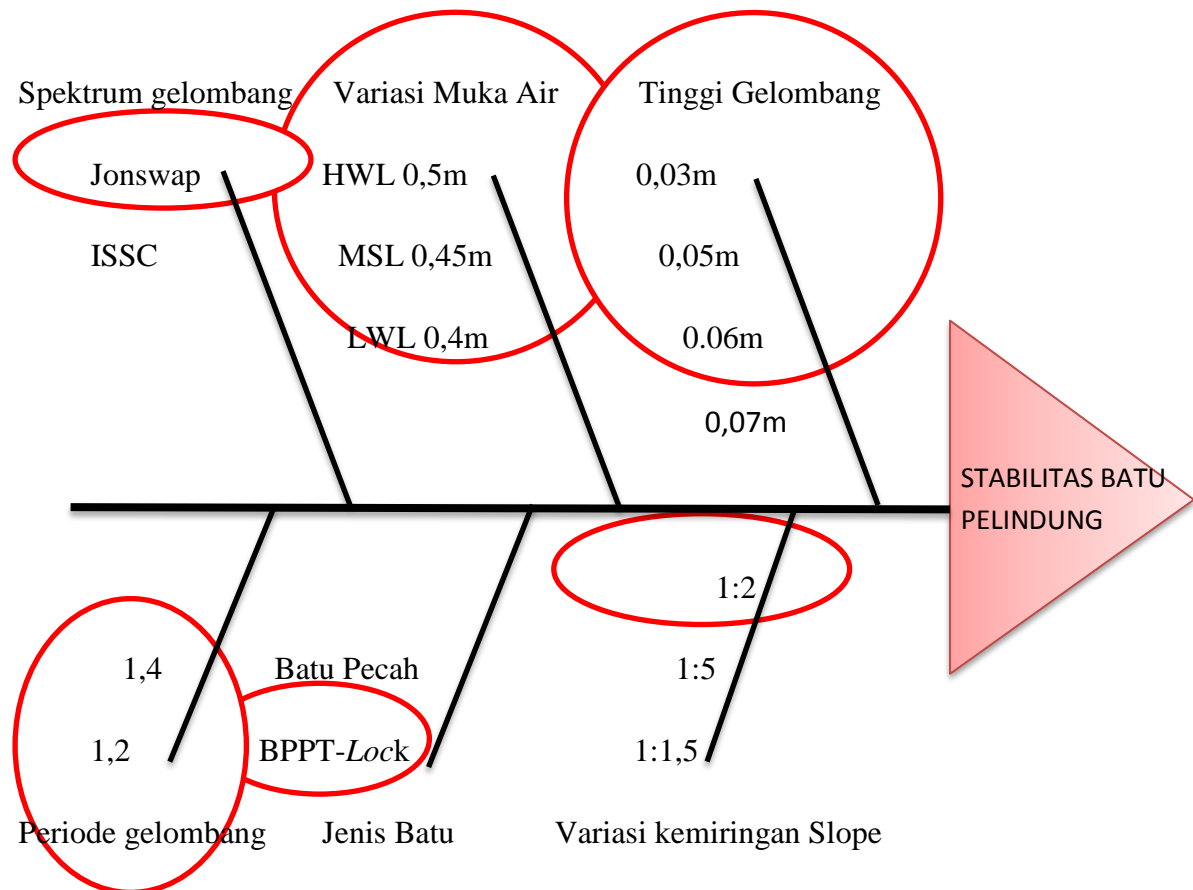
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram *Fishbone*

Untuk mempermudah gambaran variasi-variasi apa saja yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini dapat dilihat melalui diagram tulang ikan atau *fishbone diagram* seperti di bawah ini:

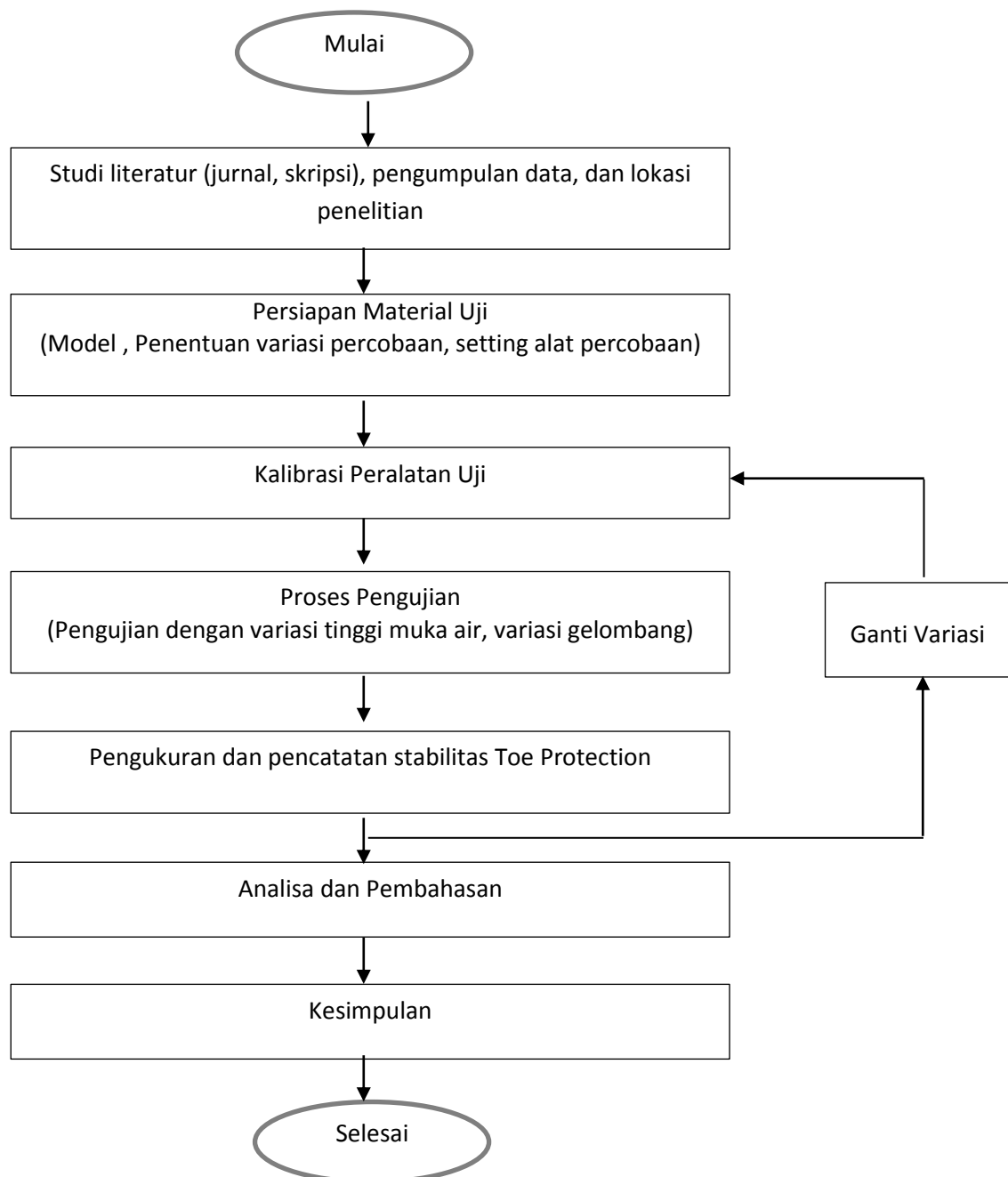


Gambar 3.1 Diagram ikan pengerjaan tugas akhir

3.2 Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahapan persiapan penelitian yang perlu dilakukan dalam menganalisa stabilitas armor unit BPPT log.

Tahapan tersebut dapat digambarkan pada diagram alir penelitian sebagai berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Metode Penelitian

Adapun metodologi penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan bagan alir kegiatan adalah sebagai berikut :

Mulai

Studi Literatur :

Pengumpulan referensi stabilitas armor unit seawall, pemodelan fisik, gelombang acak dan jenis armor BPPT-*Lock* (internet atau sumber lain)

Persiapan Percobaan :

- Pembuatan model fisik
- Pengecekan peralatan laboratorium
- Perakitan model seawall dengan armor BPPT-*Lock*

Kalibrasi Alat :

- Kalibrasi Wave probe

Pelaksanaan penelitian

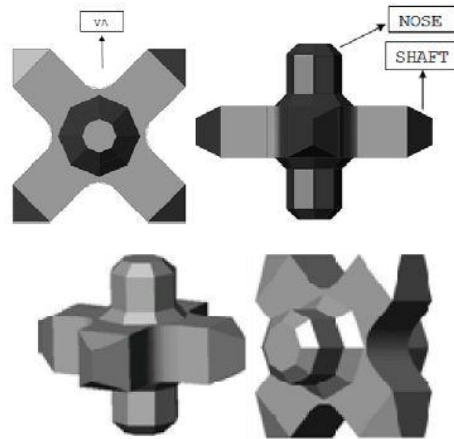
- Penyusunan model kedalam wave tank
- Pengambilan data transmisi gelombang

Analisa dan pembahasan

Kesimpulan

Selesai

atau *prototype* yang di perkecil dari ukuran sebenarnya dengan skala 1:25 dan sekala batu BPPT-Lock 1:25, panjang lengan BPPT-Lock 7cm dan lebar 5cm. Berikut gambar BPPT-Lock:



Gambar 3.4.2 Model BPPT-Lock (Sumber: Zuhdan, dkk. 2012)

Dalam melakukan pengujian, selain dilakukan variasi muka air, juga di lakukan variasi gelombang dan periode gelombang. Penentuan variasi parameter tersebut sesuai dengan yang dimiliki mesin pembangkit gelombang (*wave generator*) yang digunakan dalam pengujian, selanjutnya adalah mempersiapkan peralatan pengujian yang akan digunakan dalam uji stabilitas struktur armor unit batu pelindung bentuk x-blok pada *seawall*. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kolam Gelombang / Tangki Saluran Gelombang (*Flume Tank*)

Uji model fisik struktur armor unit batu pelindung bentuk BPPT-Lock pada *seawall* ini akan dilakukan di dalam saluran gelombang yang disebut *flume tank*. *Flume tank* ini berada di dalam Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan. *Flume tank* memiliki tiga pembangkit, pertama adalah pembangkit gelombang, gelombang yang di bangkitkan adalah gelombang regular dan irregular. Kedua adalah pembangkit angin yang dapat di bangkitkan di lab *flume tank* adalah 10 m/s. Yang ketiga adalah pembangkit arus, *flume tank* bias membangkitkan

arus dengan sistem *impeller* dengan rentang kecepatan 2,5 m/s hingga 10 m/s.



Gambar 3.4.3 Flume Tank

2. *Wave Gauge System*

Wave gauge system merupakan serangkaian alat yang digunakan untuk mengukur tinggi dan periode gelombang. Komponen dari *Wave gauge system* terdiri dari beberapa alat yang mempunyai fungsi masing-masing, diantaranya:

- ❖ *Wave probe*, yaitu alat yang digunakan untuk merekam tinggi gelombang dan periode gelombang ketika alat *wave probe* di celupkan dalam air.
- ❖ *Wave height meter*, merupakan alat pembacaan hasil fluktuasi permukaan air tenang dari sensor yang terdapat pada *wave probe*. Jika sensor yang bekerja pada *wave probe* mengalami perubahan maka perubahan itu akan di kirim oleh *wave probe* ke *wave height meter* dalam bentuk voltase setiap ada perubahan x centimeter pada permukaan air.
- ❖ Kabel *wave probe*, digunakan untuk menghubungkan *wave probe* dengan *wave height meter*.

Pada prinsipnya wave probe menghitung elevasi muka air, kemudian elevasi muka air tersebut direferensikan terhadap still water level dengan metode zero-up crossing untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang. Berikut variasi tinggi gelombang dan periode gelombang serta variasi muka air struktur armor unit batu pelindung:

Tabel 3.4.1 Variasi tinggi gelombang dan periode gelombang serta variasi muka air struktur armor unit batu pelindung BPPT-Lock

TIPE GELOMBANG	SUDUT KEMIRINGAN	TINGGI GELOMBANG	PERIODE
		m	Detik
IREGULER	1:2	0.03	1.2
			1.4
		0.05	1.2
		0.06	
		0.07	
	1:2	0.03	1.2
			1.4
		0.05	1.2
		0.06	
		0.07	
	1:2	0.03	1.2
			1.4
		0.05	1.2
		0.06	
		0.07	

3.4.3 Skala Panjang

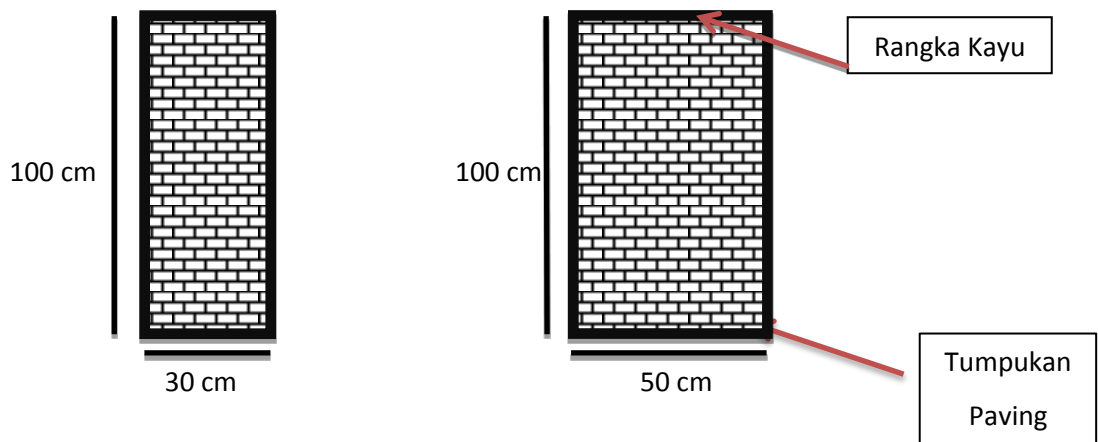
Model harus memiliki keserupaan geometrik dengan *prototype*, maka penyekalaan *prototipe* harus sebaik mungkin dilakukan agar model benar-benar memiliki rasio semua dimensi linier yang sama. Dimensi linier yang dimaksud adalah panjang, lebar, tinggi, dan kedalaman air. Dengan rasio perbandingan Sehingga, diperoleh skala panjang 1:2.

Tabel 3.4.2. Skala model dari *prototype*

Dimensi	Ukuran (m)
Panjang	0,5
Lebar	0,3
Tinggi	1,0

3.4.4 Pembuatan model

Pembuatan model dilakukan dengan berdasarkan pertimbangan dari hasil penyekalaan panjang dan berat, baik mulai dari pemilihan bahan maupun bentuk yang akan dibuat untuk model fisik *seawall* dengan armor BBPT-*Lock*. Dimana model seawall penggambaran struktur aslinya yang telah di perkecil dengan skala 1:25 dengan tumpukan armoe unit pelindungnya yaitu BPPT-*Lock* dengan berat 65.88gram dengan skala 1:25. Model yang digunakan dalam pengujian adalah struktur *seawall* (gambar 3.4.3) dengan dinding tegak yang terbuat dari rangkaian kayu yang dibentuk balok dengan tinggi 100 cm, lebar 30 cm, dan panjang 50 cm. Kemudian rangka balok tersebut ditutup dengan menggunakan kayu lapis. Sebagai pemberat, di bagian dalam diberi tumpukan paving.



Gambar 3.4.4 Penampang melintang model *seawall*

3.4.5 Desain pengujian model

Desain pengujian sangat perlu dilakukan agar saat pengujian model di laboratorium peneliti telah terlebih dahulu mengetahui gambaran yang harus dilakukan sehingga percobaan dapat dilakukan dengan sebaik mungkin untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

3.4.6 Kalibrasi alat

Alat-alat yang perlu dikalibrasi adalah *wave probe*. Kalibrasi untuk *wave probe* harus sangat teliti karena alat inilah yang nantinya mengukur tinggi gelombang yang terjadi. Proses kalibrasi dilakukan pada setiap kali akan melakukan percobaan. Cara untuk melakukan kalibrasi alat ukur gelombang (*wave probe*) adalah dengan menaik turunkan *wave probe* sebanyak 3 titik ke atas dan 3 titik ke bawah dengan mengacu pada titik nol yang sudah ditentukan. Untuk perubahan tiap satu titik adalah sebesar 5 cm. Dengan cara ini kemudian dapat dibentuk suatu persamaan sesuai yang sudah disebutkan sebelumnya.

Mesin pembangkit gelombang (*wave generator*) juga harus dilakukan kalibrasi untuk mengetahui hasil output tertinggi gelombang yang dibangkitkan dan

juga input tinggi gelombang. Dimana hal ini bertujuan supaya hasil pengujian memiliki nilai akurasi yang tinggi.

3.4.7 Pengujian model

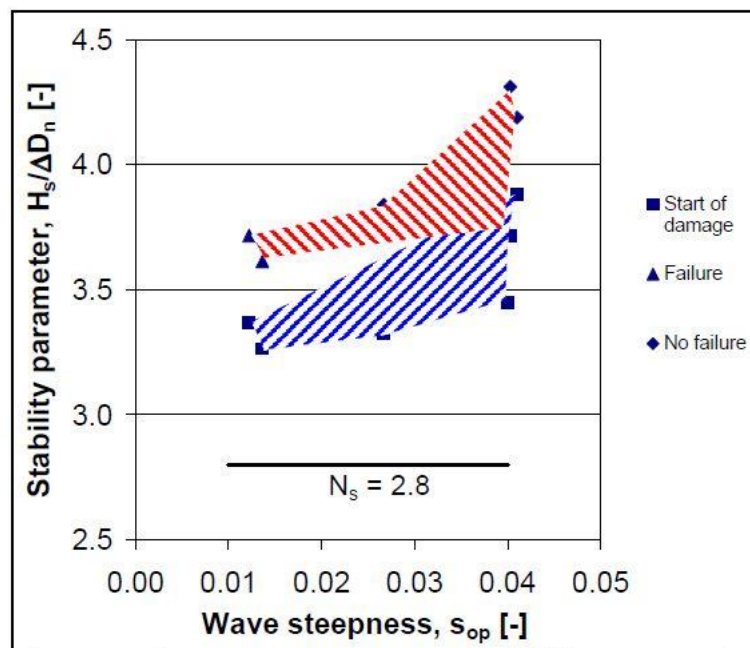
Model disusun di *wave flume* sesuai dengan rencana maka pengujian (running) dapat segera dilakukan sesuai desain pengujian yang telah dibuat, yakni dengan memasukkan data tinggi gelombang dan periode gelombang di komputer kendali. Gelombang yang dibangkitkan merupakan gelombang irreguler. Berikut gambar peletakan armor BPPT-*Lock*.



Gambar 3.4.5 Peletakan armor BPPT-*Lock*

3.4.8 Analisa dan Pembahasan

Hasil dari pencatatan data pengujian akan diperoleh tinggi gelombang yang akan digunakan sebagai perhitungan Stabilitas armor BPPT-Lock. Parameter tak berdimensi yang akan digunakan seperti *wave steepness* $\frac{H}{gT^2}$, yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari tinggi dan periode gelombang. *Wave steepness* akan dihubungkan dengan parameter tak berdimensi lainnya yaitu angka stabilitas $N_s = \frac{H}{\Delta D_n}$. Δ merupakan *relative density* dan D_n merupakan diameter nominal dari armor unit.



Gambar 3.4.6 Contoh Grafik Hubungan angka stabilitas dengan *wave steepness*

(Sumber : Bakker *et al.* 2005)

Dari gambar grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar *wave steepness* akan menyebabkan angka stabilitas juga semakin besar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pada pengujian stabilitas armor *seawall* dilakukan pengamatan batu BPPT-Lock. Armor BPPT-Lock ini sebagai pelindung pada bangunan *seawall* akibat terkena gelombang. Terdapat 3 variasi pada pengujian kali ini, variasi muka air 0,5m, variasi muka air 0,45m, dan variasi muka air 0,40m. Setiap model *seawall* dengan kemiringan armor pelindung yaitu 1:2 dengan variasi muka air yang berbeda-beda. Dengan input parameter tinggi gelombang (H) yang diujikan sebesar 0.03m ; 0.05m ; 0.06m dan 0.07m serta untuk periode gelombang (T) sebesar 1.2 dan 1.4 detik. Gelombang yang digunakan adalah gelombang ireguler dengan menggunakan Spektrum JONSWAP.

Armor BPPT-Lock adalah model batu yang digunakan sebagai pelindung pada *seawall* dengan cara disusun acak, diharapkan batu pelindung BPPT-Lock dapat menahan gelombang pada saat pengujian. Gelombang yang bekerja pada model uji cenderung dapat menggerekan Armor BPPT-Lock menyebabkan terjadinya pergerakan yang tidak stabil maupun terjadi perpindahan batu dari zona peletakan awal. Pada pengujian ini armor BPPT-Lock dianggap tidak stabil ketika gelombang yang membentur armor BPPT-Lock pada *seawall* mengalami gerakan, pergeseran dari posisi awal ataupun perpindahan dari zona penempatan warna. Pada pengujian ini dilakukan pengamatan visual dengan cara mengambil gambar dengan cara difoto sebelum dan sesudah pengujian untuk membandingkan armor BPPT-Lock saat sebelum terkena gelombang dan juga sesudah terkena gelombang. Adapun pengamatan visual dilakukan dengan cara merekam video agar menangkap momen terjadinya pergerakan, pergeseran ataupun perpindahan batu BPPT-Lock.

4.2 Analisa Data

Setelah melakukan pengujian, analisis data diperlukan dengan tujuan untuk mengetahui bahwa data yang telah diperoleh melalui uji laboratorium dapat memenuhi kriteria yang ada untuk selanjutnya dilakukan perhitungan.

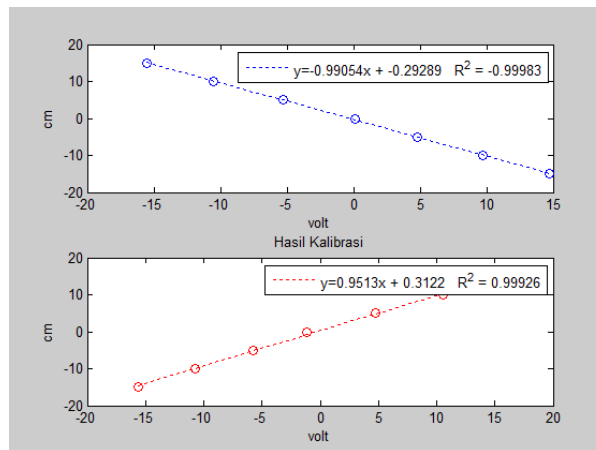
4.2.1 Kalibrasi Wave Probe

Kalibrasi dilakukan pada alat *wave probe*. Hal ini perlu dilakukan mengingat *wave probe* nantinya akan digunakan sebagai alat ukur tingginya gelombang yang terjadi. Proses kalibrasi ini dilakukan pada setiap saat percobaan akan dilakukan, karena dapat memberi pengaruh terhadap validnya data yang diperoleh selama percobaan berlangsung.

Langkah awal dengan melakukan pencatatan *zero point* pada saat kondisi air tenang yang diindikasikan sebagai titik nol, kemudian *wave probe* diturunkan sejauh 15 cm dari titik nol tersebut melalui pencatatan setiap jarak 5 cm. Berikut tabel hasil dari kalibrasi *wave probe*:

Tabel 4.1 Data dari probe 1 dan probe 2

Jarak Pengukuran	ETA 1	ETA 2
	(cm)	(cm)
15	-15.61	15.61
10	-10.61	10.61
5	5.085	-5.38
0	-0.539	0.34
-5	-5.45	5.59
-10	-10.83	11.61
-15	-15.83	16.61



Gambar 4.1 Hasil kalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak AnaWare

4.2.2 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Proses pengujian gelombang dilakukan dengan menggunakan *wave probe* berfrekuensi 25 Hz dan terdapat sebanyak 50 data yang merekam frekuensi gelombang per detiknya. Pada pengujian ini dilakukan selama 50 menit untuk 1 variasi percobaan, maka hasil perolehan data selama 50 menit tersebut adalah sebanyak 75.000 data. Berikut tabel contoh pembacaan data gelombang:

Tabel 4.2 Rekaman data probe 1 dan probe 2

Data	t	Probe 1	Probe 2
1	0	-0.075	1.50
2	0.040	-0.013	1.50
3	0.080	0.047	1.50
4	0.120	0.047	1.43
...
...
...
74998	2999.880	-0.477	1.85
74999	2999.920	-0.168	2.24
75000	2999.960	0.573	65.94

Sistem komputer yang tersedia akan merekam data gelombang dalam bentuk format berupa *Time History*. Keseluruhan data tersebut belum dapat digunakan, namun harus diolah terlebih dahulu menggunakan alat bantu *software* Revana. *Software* tersebut akan merubah format awal yang berupa *Time History* ke dalam bentuk Excel dengan tujuan untuk mendapatkan tegangan fluktuatif yang direkam melalui *wave probe* dalam kurun waktu tertentu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1						Data Directory	C:\My Documents\Agustus 2008\dat	pak	HOO\arh	mltg	mdl	9\			
2						Data FileName	H 30 T 2.2.TMH								
3															
4						Zero Voltage		-0.0027	-0.0015			Zero	File name		
5						Cal. Vloatge(with z)		0.0289	-0.0318			Cal.	C:\Program\OTHERS\heny\zero\heny2.TMH		
6						Cal. Vloatge(without z)		0.0316	-0.0303				C:\Program\OTHERS\heny\cal\heny2.TMH		
7						CalSet Value(m)		0.2000	0.2000						
8						Cal value		6.3298	-6.5959						
9							INP.	INP.	Fix.	calc.					
10						setting value	W. period	Samp. Frq	2PAI	W. period 1	W. period 2				
11								100.0	6.283165						
12						calc.result	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.
13							Eta1 cos	Eta1 sin	Eta2 cos	Eta2 sin	cos2	sin2	sincos		
14															
15							calc.	calc.	calc.	calc.					
16						Ana result	A1	B1	A2	B2					
17															
18						Calc. Point	start (inp.)	end (inp.)	Data No.			DEPTH			
19									30000						
20						Time History	No	Eta 1	Eta 2						
21						Time His. Clear	0.000	-0.60114694	0.65974604						
22							0.010	-0.60114694	0.79533339						
23						Time History	0.020	-0.6321	0.8275						
24							0.030	-0.6321	0.7953						
25						Zero UP cross	0.040	-0.6321	0.8275						
26							0.050	-0.6321	0.7953						

Gambar 4.2 Tampilan excel macro refana untuk mengambil nilai tegangan dari *time history*.

Terdapat beberapa nilai pada *software* Revana yaitu nilai Eta 1 dan Eta 2. Pada nilai Eta 1 merupakan nilai tegangan yang terekam oleh *wave probe* 1. Pada pengujian ini, *wave probe* 1 terletak dekat pada pembangkit gelombang dan secara otomatis akan mencatat nilai gelombang yang datang, sedangkan pada nilai Eta 2 merupakan nilai tegangan yang terekam oleh *wave probe* 2 dan terletak dekat dengan struktur *seawall* dengan jarak 50 cm untuk merekam nilai refleksi.

Tahap selanjutnya dengan *software* AnaWare yang berfungsi untuk mengetahui tinggi gelombang dalam bentuk (cm) dan periode gelombang dalam bentuk (detik). Pada nilai Eta 1 dan Eta 2 dan data hasil kalibrasi

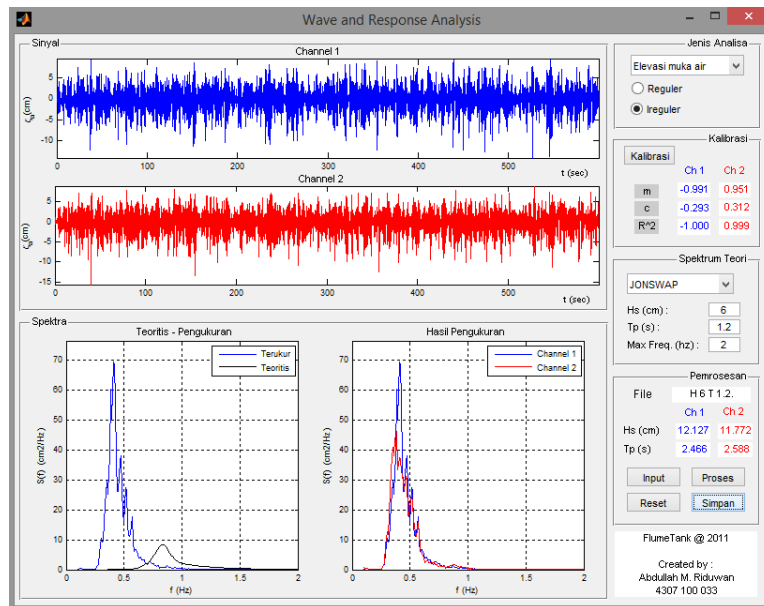
wave probe 1 maupun *wave probe* 2 serta data pengujian dalam bentuk format Excel, keseluruhannya disimpan dalam satu folder untuk kemudian dianalisa menggunakan *software* AnaWare.

Name	Date modified	Type	Size
0	3/23/2017 5:57 PM	Microsoft Excel 97...	82 KB
AnaWaRe	9/27/2016 12:50 AM	Application	118 KB
D2	3/23/2017 5:58 PM	Microsoft Excel 97...	79 KB
D3	3/23/2017 6:00 PM	Microsoft Excel 97...	79 KB
D4	3/23/2017 6:00 PM	Microsoft Excel 97...	138 KB
H 3 T 1.2.	3/23/2017 6:04 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 3 T 1.4.	3/23/2017 6:05 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 5 T 1.2.	3/23/2017 6:05 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 6 T 1.2.	3/23/2017 6:06 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 7 T 1.2.	3/23/2017 6:06 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
U2	3/23/2017 6:01 PM	Microsoft Excel 97...	79 KB
U3	3/23/2017 6:01 PM	Microsoft Excel 97...	78 KB
U4	3/23/2017 6:03 PM	Microsoft Excel 97...	133 KB

Gambar 4.3 Penempatan hasil output refana dalam satu folder

Hasil dari kalibrasi *waveprobe* di bagi pada file Excel yang berbeda pada setiap penurunan 5cm dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada file tersebut terdapat nama file yang berbeda-beda agar mengetahui hasil kalibrasi dan hasil variasi gelombang pengujian. File yang berjudul 0 merupakan titik 0 dari *wave probe*, file yang berjudul D2, D3, D4 adalah nilai +5 cm, +10 cm, +15 cm dari *wave probe* kemudian file yang berjudul U2, U3, U4 itu adalah nilai -5 cm, -10 cm, -15 cm dari *wave probe* pada saat kalibrasi.

Nilai pembacaan tinggi gelombang juga dijadikan file yang berbeda agar mengetahui perbedaan variasi tinggi gelombang. Contohnya pada file yang bernama H3 T1.2 itu pembacaan gelombang pada pengujian tinggi gelombang 3cm dan periode 1.2 detik, begitupun seterusnya. Pengujian ini di ambil data dengan interval waktu 10 menit pada setiap variasi pengujian agar menentukan H_i dan T_i gelombang.



Gambar 4.4 Tampilan AnaWare

Pada gambar 4.4 adalah tampilan dari *software* AnaWare, berikut langkah-langkah penggunaan *software* AnaWare adalah sebagai berikut, langkah pertama adalah menentukan gelombang yang di gunakan entah itu gelombang regular maupun irregular, kemudian melakukan kalibrasi pada file Excel yang sudah ada hasil kalibrasinya. Karena pengujian kali ini menggunakan gelombang irregular maka spectrum yang digunakan adalah spectrum JONSWAP, kemudian masukan H_s dan T_p rencana input pada file Excel sesuai dengan tinggi gelombang dan periode gelombang lalu diproses. Data yang di dapat pada *software* AnaWare ini diperoleh nilai H_s dan T_p adalah hasil dari pembacaan *wave probe*. Berikut merupakan hasil olahan dengan menggunakan *software* AnaWare.

Tabel 4.3 Hasil nilai olahan AnaWare

Kedalaman (d) m	H & T input	Output	
		Hs (m)	Tp (s)
0.5	Hs = 3cm & Tp = 1.4s	0.060	1.67
	Hs = 3cm & Tp = 1.2s	0.070	1.63
	Hs = 5cm & Tp = 1.2s	0.120	1.62
	Hs = 6cm & Tp = 1.2s	0.130	1.64
	Hs = 7cm & Tp = 1.2s	0.140	1.61
0.45	Hs = 3cm & Tp = 1.4s	0.060	1.68
	Hs = 3cm & Tp = 1.2s	0.070	1.62
	Hs = 5cm & Tp = 1.2s	0.110	1.58
	Hs = 6cm & Tp = 1.2s	0.130	1.65
	Hs = 7cm & Tp = 1.2s	0.140	1.63
0.4	Hs = 3cm & Tp = 1.4s	0.060	1.67
	Hs = 3cm & Tp = 1.2s	0.070	1.6
	Hs = 5cm & Tp = 1.2s	0.120	1.56
	Hs = 6cm & Tp = 1.2s	0.130	1.62
	Hs = 7cm & Tp = 1.2s	0.140	1.6

Pada tabel di atas maka dapat disimpulkan bahawa tinggi gelombang dan periode yang direncanakan atau yang diinputkan nilai yang keluar tidak sama dengan yang tercatat pada sistem perekam atau output-annya. Hal ini disebabkan wave generator atau mesin pembangkit gelombang yang bekerja kurang maksimal.

4.3 Pengamatan Pengujian Secara Visual

Pengamatan pengujian secara visual dilakukan melalui dokumentasi berupa foto dan video. Dokumentasi dilakukan pada saat sebelum dan sesudah pengujian dilakukan agar dapat mengetahui respon model dengan variasi gelombang yang diujikan. Batu BPPT-lock terbagi atas 5 zona, untuk

mempermudah pengamatan pada pengujian ini, masing-masing batu diberi warna yang berbeda-beda, sehingga memudahkan pula proses pengamatan batu yang bergerak dan berpindah pada setiap zona warna yang ada. Gelombang yang dibangkitkan menyebabkan sebagian batu-batu bergerak dan berpindah dari zona warnanya, sehingga struktur batu pelindung *sea wall* menjadi tidak stabil.

Gambar 4.5 dan 4.6 merupakan hasil pengamatan dari satu buah batu kuning yang mengalami perpindahan zona, dari zona awalnya yaitu kuning ke zona berwarna abu-abu dan mengindikasikan model pelindung kaki *seawall* yang tidak stabil dengan kemiringan 1:2, tinggi gelombang (H) 0,11m dan periode gelombang (T) 2,4 detik.



Gambar 4.5 Keadaan model sebelum terkena gelombang uji



Gambar 4.6 Keadaan model setelah terkena gelombang uji

Tabel 4.4 Hasil pengamatan visual respon model uji

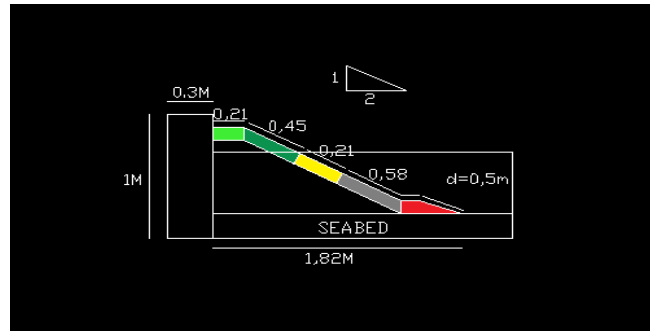
Elevasi muka air	Kemiringan	Hs	Tp	Status
		cm	detik	
0,50m	1:2	0.060	1.67	STABIL
0,50m		0.070	1.63	STABIL
0,50m		0.120	1.62	TIDAK STABIL
0,50m		0.130	1.64	TIDAK STABIL
0,50m		0.140	1.61	TIDAK STABIL

Elevasi muka air	Kemiringan	Hs	Tp	Status
		cm	detik	
0,45m	1:2	0.060	1.68	STABIL
0,45m		0.070	1.62	STABIL
0,45m		0.110	1.58	TIDAK STABIL
0,45m		0.130	1.65	TIDAK STABIL
0,45m		0.140	1.63	TIDAK STABIL
0,40m	1:2	0.040	1.67	STABIL
0,40m		0.060	1.6	STABIL
0,40m		0.090	1.56	STABIL
0,40m		0.110	1.62	STABIL
0,40m		0.120	1.6	STABIL

Berikut merupakan table yang menunjukkan hasil dari pengamatan visual yang dilakukan saat eksperimen variasi kemiringan 1:2 dan variasi elevasi muka air HWL 0,50m, MSL 0,45m dan LWL 0,40m dengan periode gelombang yang digunakan 1,4s dan 1,2s.

Dari table diatas menunjukkan hasil dari pengamatan visual yang menunjukkan hasil pengujian eksperimen pelindung kaki dengan armor BPPT-*Lock* setelah pengujian. Pada kolom status menunjukkan hasil stabil dan tidak stabil, bila status menunjukkan hasil stabil bila batu BPPT-*Lock* tidak ada pergerakan, tidak berpindah pada posisi semula dan tidak berpindah zona dari penempatan semula maka dinyatakan “STABIL”. Sementara batu BPPT-*Lock* dinyatakan tidak stabil apabila batu BPPT-*Lock* mengalami pergerakan, dan mengalami perpindahan zona penempatan maka dapat dinyatakan “TIDAK STABIL”. Pada 15 pengujian yang dilakukan dengan variasi tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) tertentu, maka terdapat beberapa model pelindung kaki seawall dengan armor BPPT-*Lock* yang dinyatakan “TIDAK STABIL” karna mengalami pergerakan maupun perpindahan zona dari penempatan semula setelah pengujian dilakukan.

4.3.1 Pengamatan Visual Dengan Variasi Muka Air 0,5m



Gambar 4.7 Kemiringan 1:2 variasi elevasi muka 0,5m

Pada pengujian pertama dilakukan menggunakan variasi elevasi dengan muka air sebesar 0.05 m dan dengan kemiringan 1:2. Terdapat beberapa variasi tinggi gelombang (H) yang digunakan yaitu 0.03 m, 0.05 m, 0.06 m dan 0.07 m dan periode gelombang (T) yang digunakan yaitu 1.2 detik, dan 1,4 detik untuk tinggi gelombang 0.03 m melalui pengujian sebanyak 5 kali.

Pengujian ini menggunakan armor batu BPPT-*Lock* sebanyak 580 batu. Berikut tabel pembagian peletakan zona batu BPPT-*Lock* untuk mempermudah pengamatan dalam penelitian.

Tabel 4.5 Jumlah batu BPPT-*Lock* yang digunakan pada variasi elevasi muka air 0.5m

Zona	Jumlah batu
hijau muda (berm atas)	108
hijau tua (daerah run-up gelombang)	120
kuning (daerah run-down gelombang)	105
abu-abu	121
merah bawah (berm bawah)	126
Total	580

Hasil dari pengamatan visual pergerakan dan perpindahan batu BPPT-*Lock* yang terjadi selama proses pengujian berlangsung sebagai berikut:

- Pengujian $H = 0.03 \text{ m}$ dan $T = 1.2 \text{ s}$
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.03\text{m}$ dan periode gelombang $T = 1.2\text{s}$ dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.03 \text{ m}$ dan $T = 1.4 \text{ s}$
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.03\text{m}$ dan periode gelombang $T = 1.4\text{s}$ dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.05\text{m}$ dan $T = 1.2\text{s}$

Tabel 4.6 Pengamatan perpindahan batuan

Zona	1-10 menit	10-20 menit	20-30 menit	30-40 menit	40-50 menit
hijau muda (berm atas)					
hijau tua (daerah run-up gelombang)					
kuning (daerah run-down gelombang)	1 batu kuning bergerak- gerak	1 batu kuning bergerak- gerak	1 batu kuning bergerak- gerak	1 batu kuning bergerak- gerak	2 batu kuning bergerak- gerak
abu-abu			1 batu abu- abu bergerak- gerak		
merah bawah (berm bawah)					

Selama pengujian berlangsung terdapat 6 batu BPPT-*Lock* berwarna kuning yang berada di daerah run- down gelombang dan 1 batu BPPT-*Lock* berwarna abu-abu mengalami pergerakan dengan berat batu

yaitu 67,97 gram (kuning), 66,23 gram (kuning), 65,81 gram (kuning), 68,23 gram (kuning), 65,81 gram (kuning), 59,95 gram (kuning) dan 62,67 gram (abu-abu).

➤ Pengujian $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s

Tabel 4.7 Pengamatan perpindahan batuan

Zona	1-10 menit	10-20 menit	20-30 menit	30-40 menit	40-50 menit
hijau muda (berm atas)					
hijau tua (daerah run-up gelombang)	3 batu hijau tua bergerak-gerak	1 batu hijau tua bergerak-gerak			4 batu hijau tua bergerak-gerak
kuning (daerah run-down gelombang)	1 batu kuning bergerak-gerak	2 batu kuning bergerak-gerak			3 batu kuning bergerak-gerak
abu-abu					
merah bawah (berm bawah)					

Selama pengujian berlangsung terdapat 8 batu BPPT-*Lock* berwarna hijau tua yang berada di daerah run-up gelombang dan 6 batu BPPT-*Lock* berwarna kuning yang berada di daerah *run-down* gelombang yang mengalami pergerakan dengan berat batu yaitu 69,08 gram (hijau tua), 66,77 gram (hijau tua), 60,67 gram (hijau tua), 69,78 gram (hijau tua), 61,45 gram (hijau tua), 58,85 gram (hijau tua), 65,43 gram (hijau tua), 65,78 gram (hijau tua), 67,97 gram (kuning), 65,81 gram (kuning), 68,23 gram (kuning), 59,95 gram (kuning), 67,56 gram (kuning), 64,78 gram (kuning).

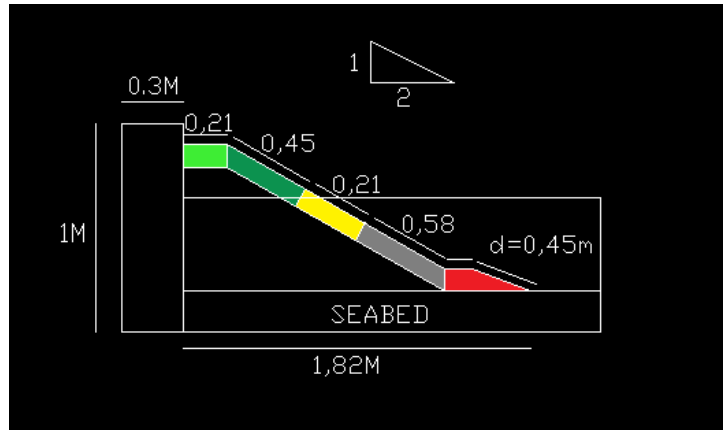
- Pengujian $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s

Tabel 4.8 Pengamatan perpindahan batuan

Zona	1	2	3	4	5
hijau muda (berm atas)					
hijau tua (daerah run-up gelombang)			6 batu hijau tua bergerak- gerak		
kuning (daerah run-down gelombang)					
abu-abu					
merah bawah (berm bawah)					

Selama pengujian berlangsung terdapat 6 batu BPPT-Lock berwarna hijau tua yang berada di daerah run-up gelombang yang mengalami pergerakan dengan berat batu yaitu 66,55 gram (hijau tua), 64,75 gram (hijau tua), 60,46 gram (hijau tua), 63,32 gram (hijau tua), 66,77 gram (hijau tua), 68,98 gram (hijau tua).

4.3.2 Pengamatan Visual Dengan Variasi Muka Air 0,45m



Gambar 4.8 Kemiringan 1:2 variasi elevasi muka air 0,45m

Pada pengujian kedua dilakukan menggunakan variasi elevasi dengan muka air sebesar 0.45 m dan dengan kemiringan 1:2. Terdapat beberapa variasi tinggi gelombang (H) yang digunakan yaitu 0.03 m, 0.05 m, 0.06 m dan 0.07 m dan periode gelombang (T) yang digunakan yaitu 1.2 detik, dan 1,4 detik untuk tinggi gelombang 0.03 m melalui pengujian sebanyak 5 kali.

Pengujian ini menggunakan armor batu BPPT-*Lock* sebanyak 580 batu. Berikut tabel pembagian peletakan zona batu BPPT-*Lock* untuk mempermudah pengamatan dalam penelitian.

Tabel 4.9 Jumlah batu BPPT-*Lock* yang digunakan pada variasi elevasi muka air 0.45m

Zona	Jumlah batu
hijau muda (berm atas)	108
hijau tua (daerah run-up gelombang)	120
kuning (daerah run-down gelombang)	105
abu-abu	121
merah bawah (berm bawah)	126
Total	580

Hasil dari pengamatan visual pergerakan dan perpindahan batu BPPT-*Lock* yang terjadi selama proses pengujian berlangsung sebagai berikut:

- Pengujian $H = 0.03 \text{ m}$ dan $T = 1.2 \text{ s}$
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.03\text{m}$ dan periode gelombang $T = 1.2\text{s}$ dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.03 \text{ m}$ dan $T = 1.4 \text{ s}$
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.03\text{m}$ dan periode gelombang $T = 1.4\text{s}$ dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.05\text{m}$ dan $T = 1.2\text{s}$

Tabel 4.10 Pengamatan perpindahan batuan

Zona	1	2	3	4	5
hijau muda (berm atas)					
hijau tua (daerah run-up gelombang)			1 batu hijau tua bergerak-gerak		
kuning (daerah run-down gelombang)		3 batu kuning bergerak-gerak			
abu-abu					
merah bawah (berm bawah)					

Selama pengujian berlangsung terdapat 1 batu BPPT-*Lock* berwarna hijau tua yang berada di daerah run-up gelombang dan 3 batu BPPT-*Lock* berwarna kuning yang berada di daerah run-down gelombang mengalami pergerakan dengan berat batu yaitu 66,67 gram (kuning), 65,76 gram (kuning), 67,45 gram (kuning), 64,75 gram (hijau tua)

- Pengujian $H = 0.06 \text{ m}$ dan $T = 1.2 \text{ s}$

Tabel 4.11 Pengamatan perpindahan batuan

Zona	1	2	3	4	5
hijau muda (berm atas)					
hijau tua (daerah run-up gelombang)					
kuning (daerah run-down gelombang)		1 batu kuning bergerak- gerak	4 batu kuning bergerak- gerak	1 batu kuning bergerak- gerak	1 batu kuning jatuh ke zona abu- abu
abu-abu					
merah bawah (berm bawah)					

Selama pengujian berlangsung terdapat 6 batu BPPT-Lock berwarna kuning yang berada di daerah run-down gelombang mengalami pergerakan dan 1 batu BPPT-Lock berwarna kuning berpindah zona abu-abu dengan berat batu yaitu 67,97 gram (kuning), 66,67 gram (kuning), 65,76 gram (kuning), 67,45 gram (kuning), 68,23 gram (kuning), 65,81 gram (kuning) dan berat baru yang berpindah zona yaitu 59,95 gram (kuning).

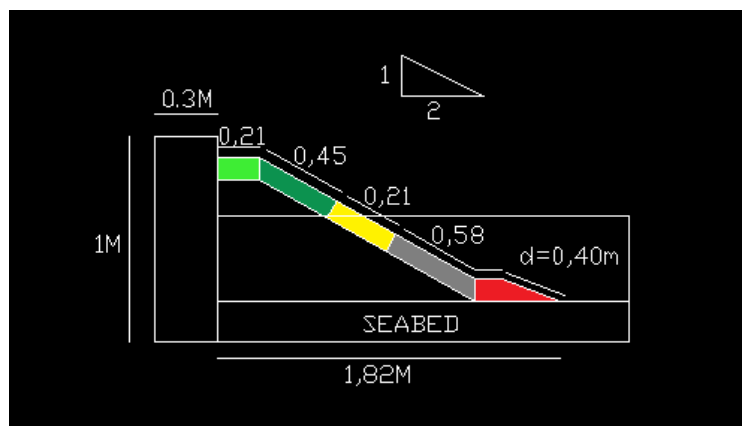
- Pengujian $H = 0.07 \text{ m}$ dan $T = 1.2 \text{ s}$

Tabel 4.12 Pengamatan perpindahan batuan

Zona	1	2	3	4	5
hijau muda (berm atas)					
hijau tua (daerah run-up gelombang)					
kuning (daerah run-down gelombang)	3 batu kuning bergerak-gerak		2 batu kuning bergerak-gerak		
abu-abu					
merah bawah (berm bawah)					

Selama pengujian berlangsung terdapat 5 batu BPPT-Lock berwarna kuning yang berada di daerah run-down gelombang mengalami pergerakan dengan berat batu yaitu 65,76 gram (kuning), 67,45 gram (kuning), 68,23 gram (kuning), 65,81 gram (kuning), 59,95 gram (kuning).

4.3.3 Pengamatan Visual Dengan Variasi Muka Air 0,40m



Gambar 4.9 Kemiringan 1:2 variasi elevasi muka air 0,40 m

Pada pengujian ketiga dilakukan menggunakan variasi elevasi dengan muka air sebesar 0.40 m dan dengan kemiringan 1:2. Terdapat beberapa variasi tinggi gelombang (H) yang digunakan yaitu 0.03 m, 0.05 m, 0.06 m dan 0.07 m dan periode gelombang (T) yang digunakan yaitu 1.2 detik, dan 1,4 detik untuk tinggi gelombang 0.03 m melalui pengujian sebanyak 5 kali.

Pengujian ini menggunakan armor batu BPPT-*Lock* sebanyak 580 batu. Berikut tabel pembagian peletakan zona batu BPPT-*Lock* untuk mempermudah pengamatan dalam penelitian.

Tabel 4.13 Jumlah batu BPPT-*Lock* yang digunakan pada variasi elevasi muka air 0.40m

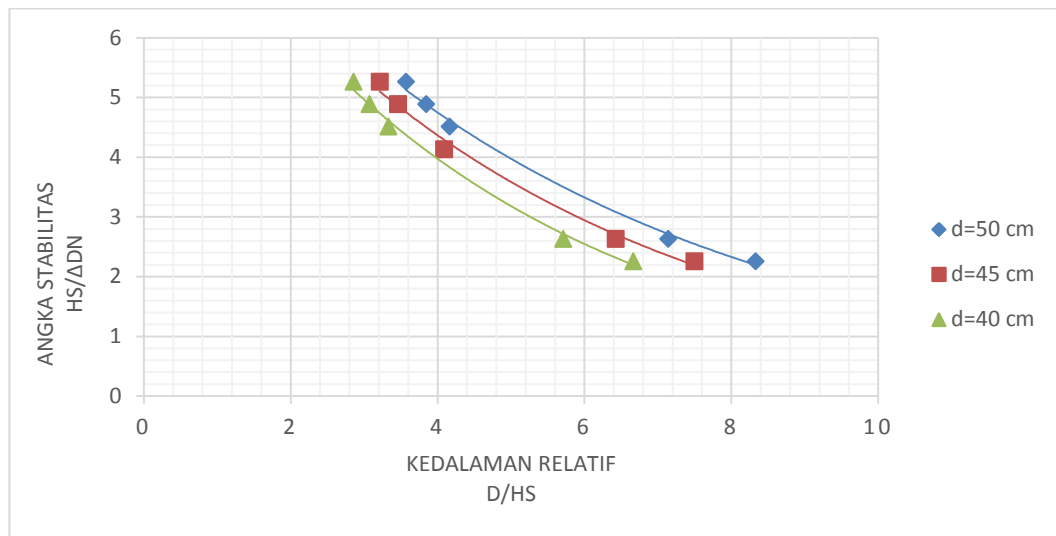
Zona	Jumlah batu
hijau muda (berm atas)	108
hijau tua (daerah run-up gelombang)	120
kuning (daerah run-down gelombang)	105
abu-abu	121
merah bawah (berm bawah)	126
Total	580

Hasil dari pengamatan visual pergerakan dan perpindahan batu BPPT-*Lock* yang terjadi selama proses pengujian berlangsung sebagai berikut:

- Pengujian $H = 0.03$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.03$ m dan periode gelombang $T = 1.2$ s dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.03$ m dan $T = 1.4$ s
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.03$ m dan periode gelombang $T = 1.4$ s dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.05$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.05$ m dan periode gelombang $T = 1.2$ s dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.06$ m dan periode gelombang $T = 1.2$ s dinyatakan stabil.
- Pengujian $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi pergerakan batu dan perpindahan batu maka pada tinggi gelombang $H = 0.07$ m dan periode gelombang $T = 1.2$ s dinyatakan stabil.

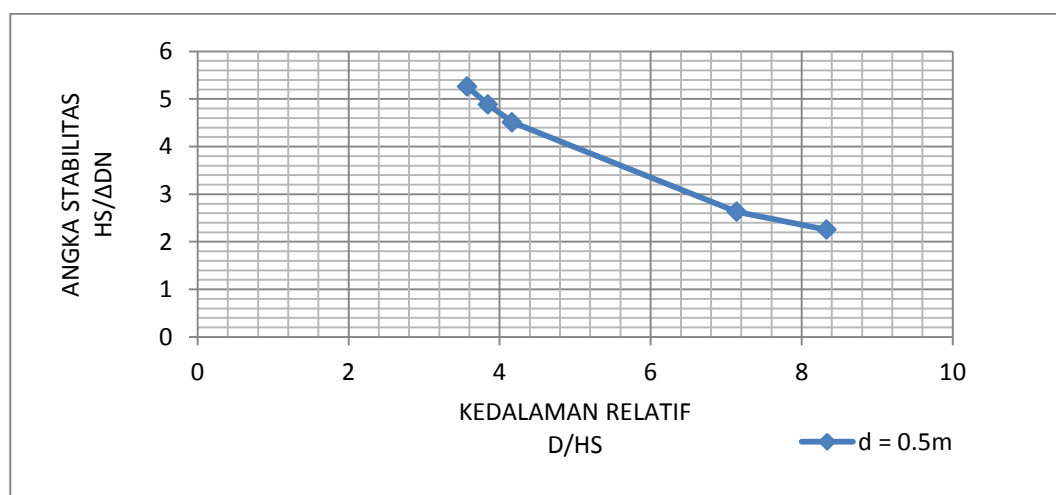
4.4. Pengaruh Angka Stabilitas Terhadap Kedalaman Air Relatif (d/H)

Hubungan antara angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$) terhadap kedalaman relatif (d/H) di tunjukan dalam gambar dibawah ini :

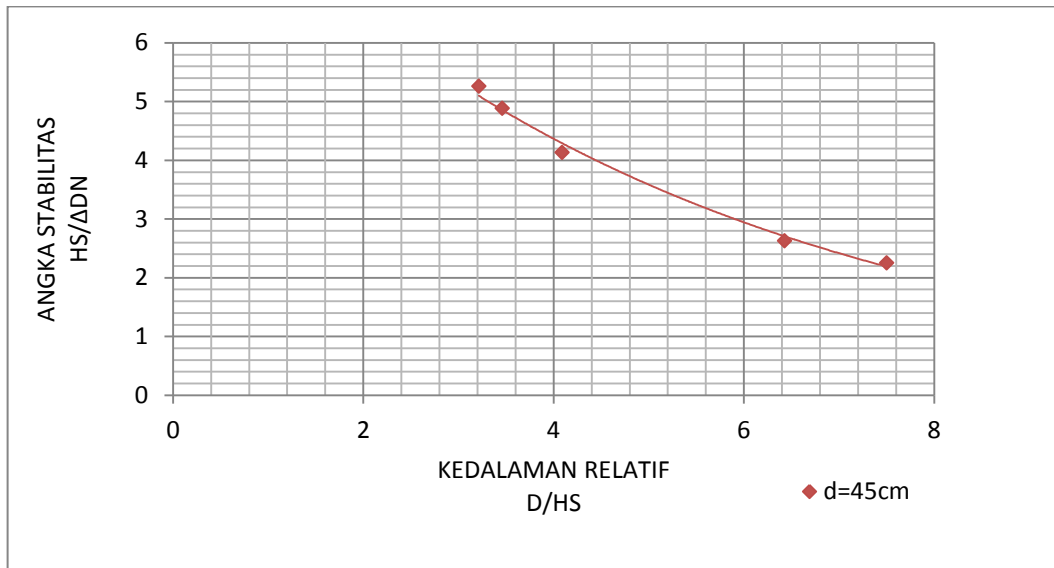


Gambar 4.10. Hubungan angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$) terhadap kedalaman air relatif (d/H)

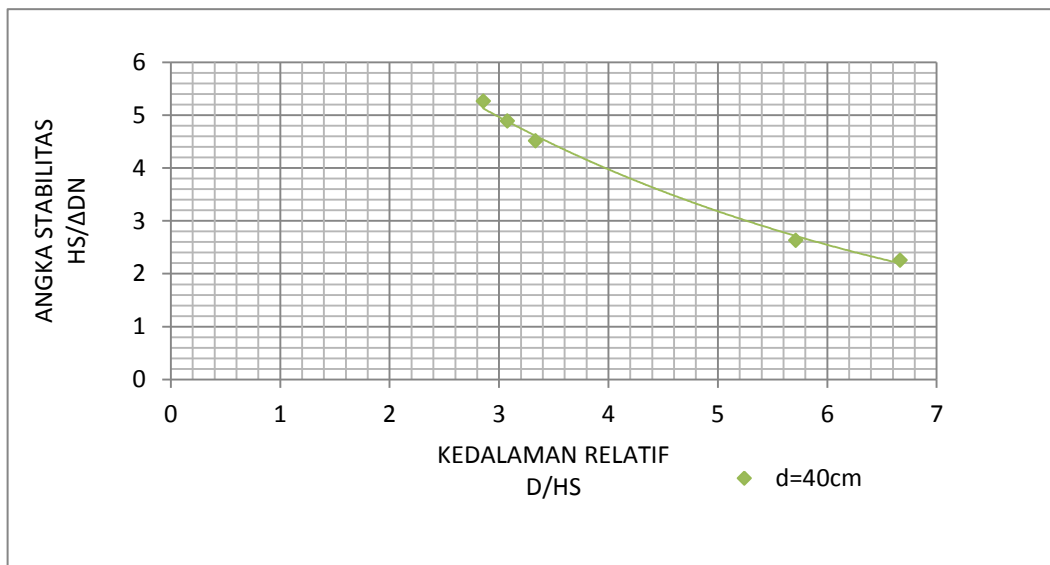
Berdasarkan grafik hubungan angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$) terhadap kedalaman air relatif (d/H) diatas, hasil grafik menunjukkan nilai kedalaman relatif (d/H) berbanding terbalik terhadap angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$). Nilai dari (d/H) dipengaruhi oleh tinggi gelombang, semakin kecil tinggi gelombang, maka semakin besar angka stabilitas yang diperoleh dan sebaliknya, apabila tinggi gelombang semakin besar, maka nilai angka stabilitas yang diperoleh semakin kecil.



(a)



(b)

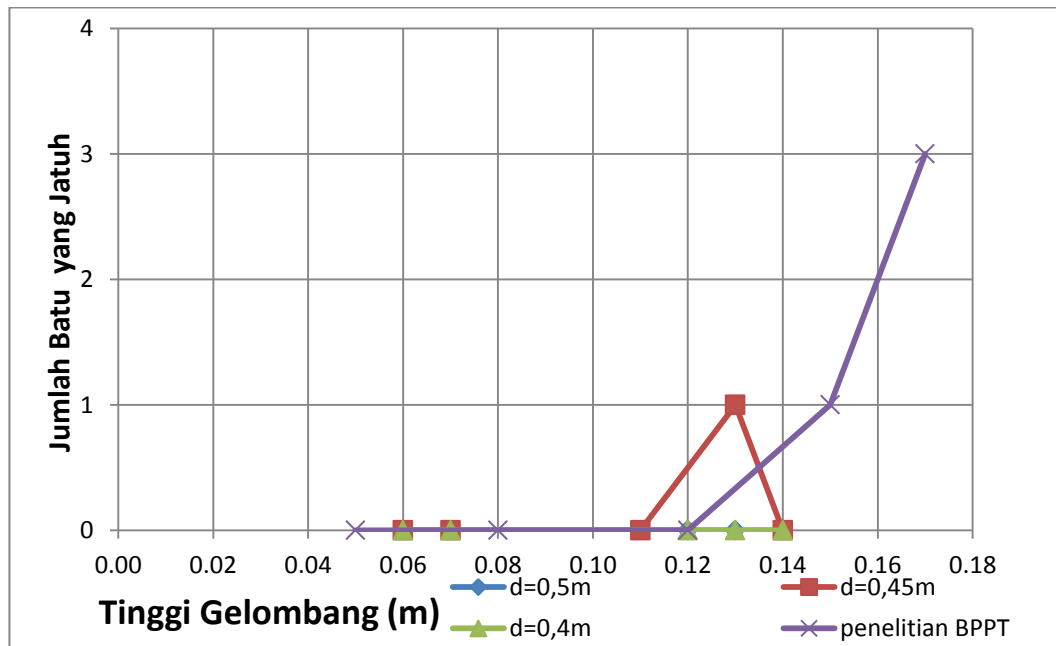


(c)

Gambar 4.11. Hubungan angka stabilitas ($H_s/\Delta D_n$) terhadap kedalaman air relatif (d/H) untuk variasi kedalaman (a) $d=0,5\text{m}$, (b) $d=0,45\text{m}$ dan (c) $d=0,40\text{m}$

4.5 Pengaruh Jumlah Batu yang Jatuh Terhadap Tinggi Gelombang (H_s)

Hubungan antara Jumlah Batu yang Jatuh Terhadap Tinggi Gelombang (H_s) di tunjukan dalam gambar dibawah ini :



Gambar 4.12. Hubungan antara Jumlah Batu yang Jatuh Terhadap Tinggi Gelombang (H_s)

Berdasarkan Grafik Hubungan antara Jumlah Batu yang Jatuh Terhadap Tinggi Gelombang (H_s), menunjukkan tinggi gelombang (H_s) akan mempengaruhi besarnya Jumlah Batu yang Jatuh yang dihasilkan, semakin besar peningkatan tinggi gelombang maka keruntuhan yang terjadi pada armor batu BPPT-*lock* juga semakin besar. Pada pengujian ini terdapat Jumlah Batu yang Jatuh terbesar di kedalaman $d = 0.45m$ dengan tinggi gelombang $H_s = 0.13m$ yang berjumlah 1 unit batu, sedangkan pada pengujian lainnya, Jumlah Batu yang Jatuh dihasilkan sebanyak 3 unit batu pada ketinggian gelombang yaitu $H_s = 0.17m$. Penyebab terjadinya batu yang jatuh pada kedalaman $d = 0.45m$ dengan tinggi

gelombang $H_s = 0.13\text{m}$ yang pertama dikarenakan berat batu BPPT-*Lock* yang lebih ringan dari berat batu lainnya yaitu 59.95gram, yang kedua karena sumbu panjang peletakan batu armor BPPT-*Lock* tegak lurus dengan arah datang gelombang yang menyebabkan batu armor BPPT-*Lock* lebih rawan runtuh. Pada kedalaman $d = 0.45\text{m}$ dengan tinggi gelombang $H_s = 0.14\text{m}$ lebih stabil dikarenakan sumbu panjang peletakan armor BPPT-*Lock* searah dengan arah datangnya gelombang menyebabkan armor batu BPPT-*Lock* lebih stabil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berikut kesimpulan dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya:

1. Dari ketiga variasi elevasi muka air yang diujikan, batu armor BPPT-*Lock* pada *seawall* yang paling stabil yaitu pada kedalaman $d=40\text{cm}$, sedangkan pada kedalaman $d=50\text{cm}$ dan $d=45\text{cm}$ dinyatakan tidak stabil karena ada Batu BPPT-*Lock* yang mengalami pergerakan pada tinggi gelombang $H_s=0.12\text{cm}$, $H_s=0.13\text{cm}$, $H_s=0.14\text{cm}$. Pada kedalaman $d=45\text{cm}$ pada tinggi gelombang $H_s=0.13\text{cm}$ persentase kerusakan pada zona yang jatuh mencapai 0.952%.
2. Besarnya tinggi gelombang (H_s) akan mempengaruhi besarnya kerusakan yang dialami oleh batu armor BPPT-*Lock*. Pada pengujian di kedalaman $d=0.45\text{m}$ dengan tinggi gelombang $H_s=0.13\text{m}$, diperoleh Jumlah Batu yang Jatuh yaitu 1 unit batu, sedangkan pada pengujian lainnya, Jumlah Batu yang Jatuh diperoleh sebanyak 3 unit batu pada ketinggian gelombang yaitu $H_s=0.17\text{m}$. Pada pengujian yang dilakukan dengan tinggi gelombang $H_s = 0.06\text{m}$, $H_s=0.07\text{m}$, $H_s=0.12$, $H_s=0.13\text{m}$, $H_s=0.14\text{m}$ dan periode gelombang $T_p=1.67\text{s}$ dan $T_p=1.63\text{s}$ persentase kerusakan seluruh armor BPT-*Lock* mencapai 0.172%.

5.2. Saran

Penambahan pada beberapa variasi percobaan meliputi variasi muka air, tinggi gelombang dan periode gelombang diperlukan pada penelitian ini, karena dibutuhkan penyesuaian berdasarkan kondisi lapangan yang sebenarnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

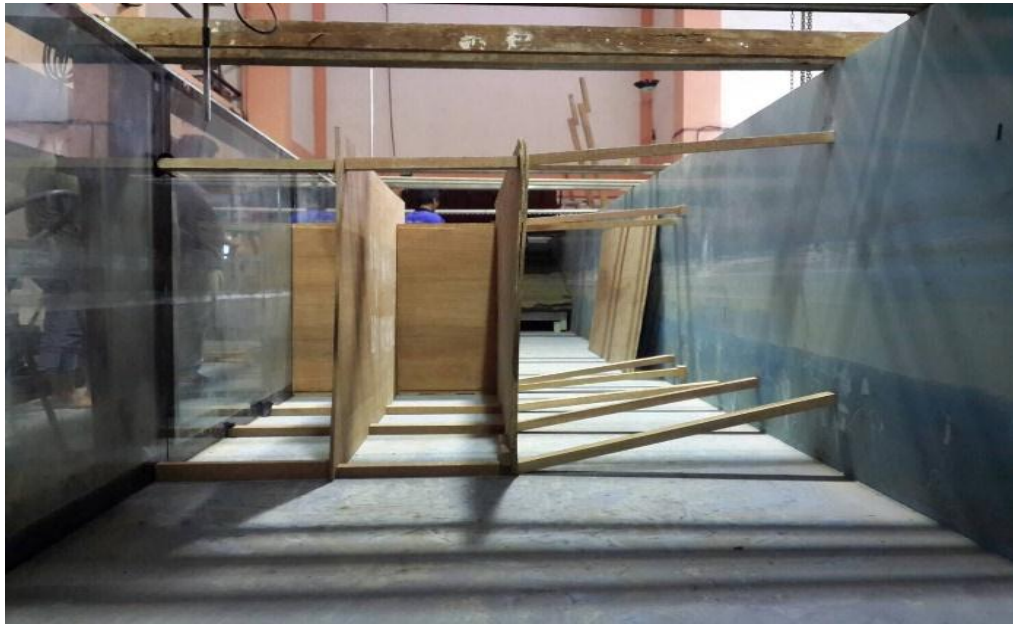
DAFTAR PUSTAKA

- Armono, Haryo Dwito. 2004. *Artificial Reef as Shoreline Protection Structures*.
- Bakker, P. *et al.* (2005). "*Hydraulic Performace of Xbloc Armour Units*", Delta Marine Consultants, Belanda.
- Bhattacharya, Rameswar, 1972, "Dynamic of Marine Vehicles", Maryland: A Wiley Series
- Chakrabarti, S.K. (1987), *Hydrodynamic of Offshore Structure*. Springer-Verlag.
- CERC. 1984. "*Shore Protection Manual*". Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Woshington, p.
- Djarmiko, E.B. (2012), *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya.
- DALRYMPLE, R. A., and J.C. Cox, "Symmetric Finite Amplitude Rotational Water Waves," *J. Phys. Ocean.*, Vol. 6, No. 6, 1976.
- DEAN, R. G., "Stream Function Representation of Nonlinear Ocean Waves," *J.Geophys. Res.*, Vol. 70, No. 18, pp. 4561-4572, 1965.
- Nuryuwono (1992), *Perencanaan Bangunan Pantai Volume II*. Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Hughes, S.A., 1993, "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering", Coastal Engineering Research Center, USA
- Pratikto, dkk., 1997, "Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut", Yogyakarta: Penerbit BPFE-YOGYAKARTA
- Pratikto, W.A, Haryo, D.A. dan Suntoyo.(1996), *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. BPFE, Yogyakarta.
- Paper Seminar Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IV. Surabaya.
- Triatmodjo, Bambang, 1999, "Teknik Pantai", Yogyakarta: Penerbit Beta Offset
- Warnock, J. E. 1950, Hydraulic Similitude, in Engineering Hydraulics, editing by H. Rouse, John wiley & Sons, New York.

Yuwono, Nur, 1992, “Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume II”,
Yogyakarta

Yuwono, Nur.1982. Dasar – Dasar Perencanaan Bangunan Pantai. Yogyakarta:
Biro Penerbit FT UGM.

LAMPIRAN A
PROSES PEMBUATAN MODEL *SEAWALL*



Gambar 1. Penyekatan Pada Kolam Flum



Gambar 2. Tamak Atas Penyekatan Pada Kolam Flum



Gambar 3. *Seabed*



Gambar 4. Penyusunan Kantong Pasir

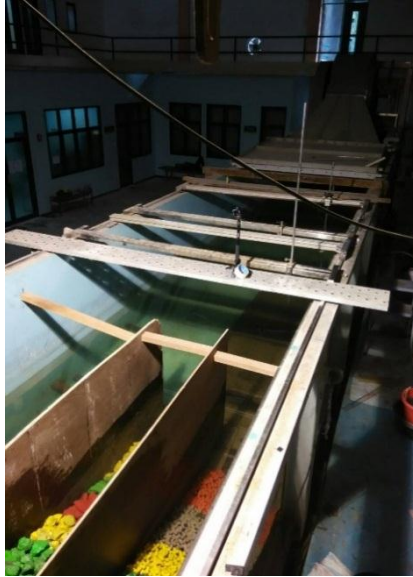


Gambar 5. Peletakan Batu Pecah Lapis ke-2



Gambar 2. Tampak samping model *seawall*

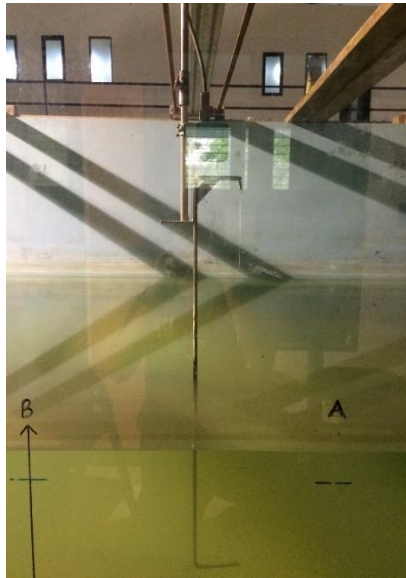
LAMPIRAN B
PERALATAN LABORATORIUM



Gabar 1. Kolam Flume



Gambar 2. *Wave* Generator



Gambar 3. *Wave Probe*



Gambar 4. Sistem Komputer

LAMPIRAN C

PENGOLAHAN DATA

Name	Date modified	Type	Size
H3 T1.4 (10 menit).TMH	1/1/1998 12:31 AM	TMH File	59 KB
H3 T1.4 (20 menit).TMH	1/1/1998 12:43 AM	TMH File	59 KB
H3 T1.4 (30 menit).TMH	1/1/1998 12:57 AM	TMH File	59 KB
H3 T1.4 (40 menit).TMH	1/1/1998 1:09 AM	TMH File	59 KB
H3 T1.4 (50 menit).TMH	1/1/1998 1:21 AM	TMH File	59 KB
H5 T1.2 (10 menit).TMH	1/1/1998 1:36 AM	TMH File	59 KB
H5 T1.2 (20 menit).TMH	1/1/1998 1:48 AM	TMH File	59 KB
H5 T1.2 (30 menit).TMH	1/1/1998 2:01 AM	TMH File	59 KB
H5 T1.2 (40 menit).TMH	1/1/1998 2:13 AM	TMH File	59 KB
H5 T1.2 (50 menit).TMH	1/1/1998 2:26 AM	TMH File	59 KB
H6 T1.2 (10 menit).TMH	1/1/1998 2:49 AM	TMH File	59 KB
H6 T1.2 (20 menit).TMH	1/1/1998 3:01 AM	TMH File	59 KB
H6 T1.2 (30 menit).TMH	1/1/1998 3:17 AM	TMH File	59 KB
H6 T1.2 (40 menit).TMH	1/1/1998 3:30 AM	TMH File	59 KB
H6 T1.2 (50 menit).TMH	1/1/1998 3:42 AM	TMH File	59 KB
H7 T1.2 (10 menit).TMH	1/1/1998 5:17 AM	TMH File	59 KB
H7 T1.2 (20 menit).TMH	1/1/1998 5:31 AM	TMH File	59 KB
H7 T1.2 (30 menit).TMH	1/1/1998 5:44 AM	TMH File	59 KB
H7 T1.2 (40 menit).TMH	1/1/1998 5:57 AM	TMH File	59 KB
H7 T1.2 (50 menit).TMH	1/1/1998 6:10 AM	TMH File	59 KB

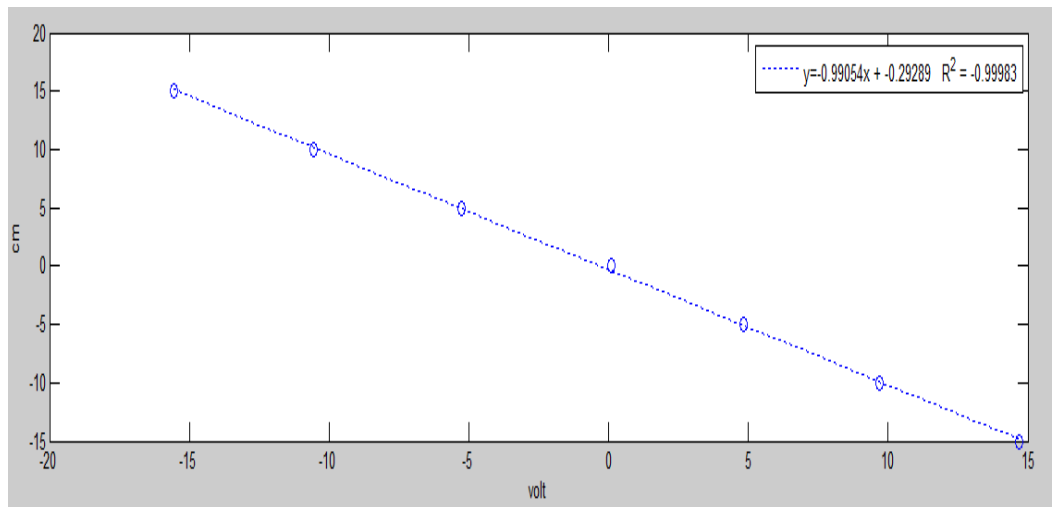
Gambar 1. Data hasil pengujian dalam format .TMH

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1						Data Directory	C:\My Documents\Agustus 2008\dat								
2						Data FileName	H 30 T 2.2.TMH								
3															
4						Zero Voltage		-0.0027	-0.0015		Zero	File name			
5						Cal. Vloatge(with z)		0.0289	-0.0318		Cal.	C:\Program\OTHERS\heny\Zeroheny2.TMH			
6						Cal. Vloatge(without z)		0.0316	-0.0303						
7						CalSet Value(m)		0.2000	0.2000						
8						Cal value		6.3298	-6.5859						
9							INP.	INP.	Fix.	calc.					
10						setting value	W. period	Samp. Frq.	2PAI	W. period 1	W. period 2				
11								100.0	6.283165						
12							calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.		
13						Calc.result	Eta1 cos	Eta1 sin	Eta2 cos	Eta2 sin	cos2	sin2	sincos		
14															
15							calc.	calc.	calc.	cal.					
16						Ana result	A1	B1	A2	B2					
17															
18						Calc. Point	start (inp.)	end (inp.)	Data No.			DEPTH			
19									30000						
20						Time History	No	Eta 1	Eta 2						
21						Time His. Clear	0.000	-0.60114694	0.85974604						
22							0.010	-0.60114694	0.79533339						
23						Time History	0.020	-0.6321	0.8275						
24							0.030	-0.6321	0.7953						
25						Zero UP cross	0.040	-0.6321	0.8275						
26							0.050	-0.6321	0.7953						

Gambar 2. Tampilan software Refana

Name	Date modified	Type	Size
0	3/23/2017 5:57 PM	Microsoft Excel 97...	82 KB
AnaWaRe	9/27/2016 12:50 AM	Application	118 KB
D2	3/23/2017 5:58 PM	Microsoft Excel 97...	79 KB
D3	3/23/2017 6:00 PM	Microsoft Excel 97...	79 KB
D4	3/23/2017 6:00 PM	Microsoft Excel 97...	138 KB
H 3 T 1.2.	3/23/2017 6:04 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 3 T 1.4.	3/23/2017 6:05 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 5 T 1.2.	3/23/2017 6:05 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 6 T 1.2.	3/23/2017 6:06 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
H 7 T 1.2.	3/23/2017 6:06 PM	Microsoft Excel 97...	1,192 KB
U2	3/23/2017 6:01 PM	Microsoft Excel 97...	79 KB
U3	3/23/2017 6:01 PM	Microsoft Excel 97...	78 KB
U4	3/23/2017 6:03 PM	Microsoft Excel 97...	133 KB

Gambar 3. Data kalibrasi, data pengujian dan software Anaware dihapus dalam satu folder



Gambar 4. Grafik hubungan antara volt dengan cm

LAMPIRAN D

BATU ARMOR BPPT-*LOCK* DAN PENGAMATAN VISUAL BPPT-*LOCK*



Gambar 1. Batu Armor BPT-*Lock*



Gambar 2. Variasi kedalaman $d=50\text{cm}$



Gambar 3. Variasi kedalaman $d=45\text{cm}$



Gambar 4. Variasi kedalaman $d=40\text{cm}$

BIODATA PENULIS



Iyan Iswara Astadiputra dilahirkan di Bali, 11 Mei 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kristen Harapan Denpasar, SDK Harapan Denasar, SMPK Harapan Denpasar, dan SMA Negeri Lima Denpasar. Setelah lulus dari SMA Negeri Lima Denpasar tahun 2013, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 4312100001. Di Departemen Teknik Kelautan, penulis mengambil bidang studi Rekayasa

Perlindungan Pantai (*Coastal Engineering*). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan, seperti Staff Ahli Departemen Pengabdian Masyarakat tahun 2014-2015, Kepala Departemen Pengabdian Masyarakat tahun 2015-2016 dan komunitas Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) tahun 2015-2016. Selama kuliah, penulis melakukan kerja praktek selama 2 bulan di Balai Litbang Pantai Grogak-Singaraja Bali dengan membahas penelitian Tanggul Laut Raksasa *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD). Apabila ingin menanyakan mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi saya pada alamat email iyaniswara324@yahoo.com.